

Colloqui.AT.e 2023

# In Transizione: sfide e opportunità per l'ambiente costruito

## In Transition: challenges and opportunities for the build heritage

Editors

Fabio Fatiguso, Francesco Fiorito,  
Mariella De Fino, Elena Cantatore

I curatori, l'editore, gli organizzatori ed il Comitato Scientifico non possono essere ritenuti responsabili né per il contenuto, né per le opinioni espresse all'interno degli articoli.

Gli articoli pubblicati, i cui contenuti sono stati dichiarati originali dagli autori stessi, sono stati sottoposti ad un processo di *double-blind peer review*.

Negli articoli l'asterisco accanto al cognome di un autore indica il referente al quale indirizzare la corrispondenza.

È utile sottolineare che i comitati non sono responsabili dei contenuti e delle opinioni espresse nei singoli contributi pubblicati nel volume. Le opinioni sono espressamente riferibili agli Autori dei contributi pubblicati nel presente volume. La presenza di prodotti e nomi commerciali non costituiscono una raccomandazione d'uso.

The editor, the publisher, the organizers and the Scientific Committee cannot be held responsible either for the content or for the opinions expressed in the articles.

Published articles, whose contents have been declared original by the authors themselves, have been subjected to a double-blind peer review process.

In the articles, the asterisk next to the surname of an author indicates the contact person to whom correspondence should be addressed.

The conference Committees are not responsible for the statements of opinions expressed in this publication. Any Statements of view expressed in the papers contained in this Book are those of the Author(s). Mention of trade names or commercial products does not constitute endorsement or recommendation for use.

Il volume è a cura di / The volume was edited by:

*Fabio Fatiguso, Francesco Fiorito, Mariella De Fino, Elena Cantatore*

Il volume è pubblicato con il patrocinio di / This book has been published with the patronage of  
*UNIBIM | Master BIM Manager – Università di Pisa*

La foto di copertina è di Francesco Carlucci

EdicomEdizioni  
Monfalcone (Gorizia)  
info@edicomedizioni.com  
www.edicomedizioni.com  
www.edicomstore.it

© Copyright EdicomEdizioni

Vietata la riproduzione anche parziale di testi, disegni e foto se non espressamente autorizzata. Tutti i diritti sono riservati a norma di legge e delle convenzioni internazionali.

The reproduction, even partial, of texts, drawings and photos is forbidden unless expressly authorized. All rights are reserved by law and international conventions.

ISBN 979-12-81229-02-0

Prima edizione ottobre 2023 / First edition October 2023

Colloqui.AT.e 2023

**In Transizione:  
sfide e opportunità  
per l'ambiente costruito**

**In Transition:  
challenges and opportunities  
for the build heritage**

A cura di / Editors

Fabio Fatiguso, Francesco Fiorito,  
Mariella De Fino, Elena Cantatore

*14-17 giugno 2023*

*Politecnico di Bari – Dipartimento di Ingegneria Civile,  
Ambientale, del Territorio, Edile e di Chimica*

*Polytechnic University of Bari – Department of Civil,  
Environmental, Land, Building Engineering and Chemistry*

**EdicomEdizioni**



# Indice

INTRODUCTION	18
INTRODUZIONE	20
<b><u>A – CONSTRUCTION HISTORY AND PRESERVATION</u></b>	
IL MAL SOTTILE E L'ARCHITETTURA SANATORIALE IN ABRUZZO M. Abita, D. Di Donato, A. Tosone, R. Morganti	25
UN.BUILDING. ESERCIZI PROGETTUALI DI CONTRAZIONE CONTROLLATA IN UN PAESE IN VIA DI SPOPOLAMENTO M. Achenza, P. Cherchi, A. Rivera Vidal	41
IL PADIGLIONE MANDOLESÌ: PROGETTO DI RECUPERO DI UN EDIFICIO MODERNO NEL CAMPUS DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA DELL'UNIVERSITÀ DI CAGLIARI M. Agus, C. Atzeni, S. Cadoni, G. Desogus, F. Marras, E. Quaquero, A. Sanna	57
UN INVENTARIO TIPOLOGICO ALLA RICERCA DEI CRITERI PROGETTUALI IN UN CONTESTO DI NUOVA FONDAZIONE. LO STUDIO DI UN BRANO DEL TESSUTO URBANO A MESSINA G. Angileri, G. Tomasello	73
GLI EDIFICI ANTITUBERCOLARI PER L'INFANZIA A PALERMO: TIPOLOGIA E TECNOLOGIA T. Basiricò	91
ARCHITETTURA E COSTRUZIONE PER L'INDUSTRIA AGRO-ALIMENTARE IN ITALIA. IL CASO DI UDINE (1920-26) A. Bertolazzi, G. Croatto, U. Turrini, F. Chinellato, L. Petriccione	103
WORK PACKAGING MODEL PER LE IPOTESI COSTRUTTIVE DEL MAUSOLEO DI TEODORICO C. Bezzi, M.A. Bragadin e L. Guardigli	117
LA SCUOLA ITALIANA DI INGEGNERIA E I "CAPOLAVORI POSTUMI": ARCHITETTURA, TECNOLOGIA E COSTRUZIONE DEL VIADOTTO DI MODICA IN SICILIA (1962-67) F. Cammarata	133
L'INGEGNERIA STRUTTURALE NEL PROGETTO "CARTA DELLA CULTURA INDUSTRIALE" G. Capurso, L. Grieco	147
RESTAURO ARCHITETTONICO SOSTENIBILE CON MALTE IDRAULICHE NATURALI A BASE CALCE E COCCIOPESTO. TEORIE E APPROCCI CATANESI, UNA RASSEGNA DELL'ULTIMO DECENNIO S.M. Cascone, L. Longhitano, G.A. Longhitano	165
HERITAGE IMPACT ASSESSMENT IN UNESCO WHS. AN APPROACH FOR EVALUATING HUMAN-INDUCED ALTERATIONS IN TRADITIONAL BUILDING'S FACADES P. Cucco	177
SPAZI E STRUTTURE PER L'INDUSTRIA: EVOLUZIONI DELLA VOLTA SOTTILE AUTOPORTANTE IN ITALIA E. Currà, I. Giannetti, M. Russo	193

MACCHINA, FABBRICA E PROGETTO. CONVERGENZE DISCIPLINARI PER IL RECUPERO DEL PALAZZO-FABBRICA DELLA ZECCA DI ROMA E. Currà, M. Russo, L. Severi, C. Cui	209
LA RIQUALIFICAZIONE PRESTAZIONALE DEI QUARTIERI INA CASA DI MESSINA. GLI ALLOGGI PER LAVORATORI DI FILIPPO ROVIGO IN CONTRADA GAZZI FUCILE G. Currò, G. F. Russo	227
LA COSTITUZIONE DI UN PARCO RURALE DELLE MADONIE. UN PROGETTO COMUNITARIO PER IL RECUPERO E LA VALORIZZAZIONE DEL PATRIMONIO ARCHITETTONICO E PAESAGGISTICO DI UN'AREA INTERNA DELLA SICILIA OCCIDENTALE A. D'Amore, M. Saeli, T. Campisi	243
IL RIUSO DELL'EDILIZIA DISMESSA. IL CASO-STUDIO DEI CASELLI FERROVIARI: ANALISI E PROPOSTE METODOLOGICHE E. D'Andria, P. Fiore	261
CONSERVAZIONE E RESILIENZA NELL'ESPERIENZA DI PALAZZO CARLI A L'AQUILA. RIFLESSIONI SU UN APPROCCIO METODOLOGICO PER EDIFICI STORICI IN CONTESTI POST-CATASTROFE P. De Berardinis, G. Di Giovanni, A. Tosone, M. Rotilio, F. Cavalieri, L. Vespasiano	279
LE FABBRICHE A STRUTTURA D'ACCIAIO NEL MEZZOGIORNO D'ITALIA: IL CENTRO LOGISTICO SIVAM A GIOIA DEL COLLE D. Di Donato, M. Abita, A. Tosone, R. Morganti	299
L'ALBERO INQUILINO E LA CRITICA AL RAZIONALISMO G. Di Mari, E. Garda, T. Casale, A. Renzulli, E. Ricchiello	315
SOLUZIONI DI ADATTAMENTO CLIMATICO DELLO SPAZIO APERTO NEGLI EDIFICI STORICI. IL CASO DEL COMPLESSO DI SAN FRANCESCO DEL PRATO (PARMA) B. Gherri	327
MODELLI CITYGML-BASED SUPPORTATI DA SISTEMI DECISIONALI PER LA CONSERVAZIONE E LA GESTIONE DEL PATRIMONIO STORICO-CULTURALE. UNA REVISIONE SISTEMATICA M. Lasorella, E. Cantatore, F. Fatiguso	345
PROGETTO DI DOCUMENTAZIONE, MAPPATURA E FRUIZIONE DI UN OGGETTO ARCHITETTONICO IN UN SISTEMA INFORMATIVO M. Morandotti, E. Doria	365
CONSERVAZIONE E VALORIZZAZIONE DEL COSTRUITO PER UNO SVILUPPO SOSTENIBILE. IL CASO DEL COLLEGIO SPALLANZANI DI PAVIA M. Morandotti, A. Greco, D. Besana, F. Pelini	381
TRASFORMAZIONI CULTURALI E SPERIMENTAZIONI COSTRUTTIVE NELLE ARCHITETTURE DEL '900. LA "CASA DEL MUTILATO" DI BARI A. Pagliuca, P. P. Trausi, G. Grimaldi	397
RI-SCRITTURA DEL PATRIMONIO CULTURALE DEL MADE IN ITALY TRA DIGITALIZZAZIONE E DESIGN STRATEGICO V.D. Porcari, R. Lorusso, A. Guida	413
SUPPORTO ALL'ANALISI COSTRUTTIVA PER GLI EDIFICI STORICI: APPLICAZIONI DEL <i>REVERSE ENGINEERING</i> AL RILIEVO DEL PATRIMONIO COSTRUITO D. Prati, A. Massafra, L. Guardigli, R. Gulli	427

VILLA ARATA DI GIO PONTI A NAPOLI TRA IDENTITÀ RAZIONALISTA E TRADIZIONI MEDITERRANEE <b>F. Ribera, P. Cucco</b>	443
INNOVAZIONE E SPERIMENTAZIONE NEL SOLCO DELLA TRADIZIONE: IL CANTIERE STORICO DEL PALAZZO DI GIUSTIZIA DI ROMA <b>F. Ribera, P. Cucco, G. Neri</b>	459
LE OPERE IDRICHE E LE VIE D'ACQUA NELLA FORMAZIONE DEL TESSUTO STORICO URBANO. PARADIGMI DI GOVERNANCE TRADIZIONALE E CONSERVAZIONE DEL PATRIMONIO CULTURALE <b>F. Ribera, A. Gallo, P. Cucco</b>	473
RAZIONALIZZAZIONE DEI PROCESSI COSTRUTTIVI E PREFABBRICAZIONE: UN BREVETTO DI SOGENE E FABRIZIO DE MIRANDA PER PONTI A STRUTTURA MISTA ACCIAIO-CALCESTRUZZO <b>F. Spada</b>	491
STRATEGIE DI RIGENERAZIONE DEI CENTRI MINORI ATTRAVERSO LA VALORIZZAZIONE E L'INNOVAZIONE TECNOLOGICA DELLE RISORSE LOCALI: UN CASO LOMBARDO <b>F. Speciale, L. E. Malighetti, M. Grecchi</b>	505
RESISTERE "PER FORMA". LE VOLTE A GUSCIO NELLA COSTRUZIONE STORICA SICILIANA: IL CASO DI PARTINICO <b>C. Vinci, S. Di Maggio, C. Di Maggio</b>	521
RIGENERARE LE PERIFERIE URBANE DI BARI: PICTOR OPTIMUS, UN COWORKING HUB DELLE ARTI PITTORICHE NEL QUARTIERE POGGIOFRANCO <b>C. Vizzarri, S. Zingaro, V. Zappimpulso, M. De Fabrizio, A. Calderazzi</b>	535
RIGENERAZIONE URBANA E DISEGNO DELLA NATURA URBANO-INDUSTRIALE <b>L. Zecchin</b>	553
LE ARCHITETTURE RELIGIOSE DI GIUSEPPE NICOLOSI NEL CONTESTO CASSINATE <b>M. Zordan, F. Fragnoli</b>	569

## **B – CONSTRUCTION AND BUILDING PERFORMANCE**

STRUMENTI E TECNOLOGIE INNOVATIVE PER LA MITIGAZIONE DEI RISCHI AMBIENTALI E ANTROPICI DEL PATRIMONIO CULTURALE. IL CASO STUDIO DELLA CHIESA DI SAN FRANCESCO A SANT'AGATA DEI GOTI <b>M. Angrisano, I. Mecca, A. Scotto di Santolo</b>	583
TOWARD INTEGRATED REDEVELOPMENT OF INDUSTRIAL BUILDINGS: A GENERAL INTERVENTION PROTOCOL AND A CASE STUDY <b>N. Banti, C. Ciacci, V. Di Naso, F. Bazzocchi</b>	595
VALUTAZIONE (BEHAVIOURAL DESIGN-BASED) MULTIRISCHIO DI AMBIENTI COSTRUITI URBANI E DELLE STRATEGIE DI MITIGAZIONE: IL CASO DELLE PIAZZE STORICHE <b>G. Bernardini, E. Quagliarini, M. D'Orazio</b>	613
STRUMENTI E METODI INNOVATIVI PER LA MANUTENZIONE PREVENTIVA E PROGRAMMATA PER LA CONSERVAZIONE DEL PATRIMONIO CULTURALE <b>G. Bernardo, C. Rinaldi, A. Guida</b>	633

APPLICATION POTENTIALS OF A 3D EXOSKELETON TECHNOLOGY COMBINED WITH PREFABRICATED PANELS TO RENOVATE THE MODERN BUILDING STOCK <b>M. Bosco, S. D'Urso, G. Margani, E. M. Marino, G. M. Nicolosi, C. Tardo</b>	649
SOSTENIBILITÀ FORMALE VS SISTEMA A CAPPOTTO: L'IMPIEGO DI MALTE FIBRO-RINFORZATE PER IL RIPRISTINO DELLE FACCIATE <b>L. Calabrese, F. Grungo, R. Lione, F. Minutoli</b>	661
GLI STANDARD E LINEE GUIDA PER LA MISURAZIONE DELLE EMISSIONI DI CARBONIO IN EDILIZIA: ANALISI DELLA LETTERATURA <b>M. Calistri, M. A. Bragadin, S. Righi</b>	675
MOQA: A LOW-COST, PLUG-AND-PLAY, WIRELESS SMART HUB FOR BUILDING ENERGY PERFORMANCE AND INDOOR COMFORT MONITORING AND OPTIMIZATION <b>N. Callegaro, R. Albatici</b>	691
EFFICIENZA ENERGETICA DEGLI EDIFICI SCOLASTICI PUGLIESI: UN'INDAGINE BASATA SULLA RILEVAZIONE DEI CONSUMI REALI <b>L.M. Campagna, F. Fiorito</b>	709
L'IDENTIFICAZIONE DEL RISCHIO EDILIZIO COME FASE NECESSARIA PER LA GESTIONE DEGLI SCENARI MULTI-RISCHIO <b>R. Castelluccio, M. Fraiese, L. Diana, V. Vitiello</b>	727
BUILDING INTEGRATED PHOTOVOLTAICS (BIPV): EMERGING TECHNOLOGIES, PATENTS, AND PRODUCTS <b>K. A. Castro M., R. Corrao</b>	745
RELAZIONE UOMO-ARCHITETTURA NELLE VELE DI SCAMPIA. LO SPAZIO DI RISONANZA <b>A. Catalano, C. Sansone, B. Bonetti</b>	761
STRUMENTI GEOREFERENZIATI SPEDITIVI PER LA SIMULAZIONE ENERGETICA, ANALISI LCA E LCC ALLA SCALA DELL'ISOLATO URBANO. UNA METODOLOGIA COMPARATIVA, <i>CRADLE-TO-CRADLE</i> , PER VALUTARE SCENARI DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA E DEMOLIZIONE-RICOSTRUZIONE <b>C. Costantino, A.C. Benedetti, R. Gulli</b>	769
STRUMENTI DIGITALI PER L'EFFICIENTAMENTO ENERGETICO DEGLI EDIFICI: UNA REVISIONE SISTEMATICA DELLA LETTERATURA <b>F. De Simone, M. Morganti, A. D'Amico</b>	789
METODOLOGIA PER L'ANALISI ENERGETICA DI CONTESTI EDILIZI CONSOLIDATI: DAL RILIEVO ALLA COSTRUZIONE DEL MODELLO DIGITALE <b>R. Chieppa, G.R. Dell'Osso, F. Iannone</b>	805
COME È CAMBIATA LA PERCEZIONE DELLA SOSTENIBILITÀ E DELL'IMPATTO DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SUGLI EDIFICI NELLA RICERCA DOPO IL COVID 19. UN PRIMO SONDAGGIO <b>U.M. Coraglia, C. Morganti, M.A. Bragadin, S. Pelsmakers</b>	823
BIM FOR HEALTHY BUILDINGS: UN APPROCCIO INTEGRATO ALLA PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA BASATO SULLA PREVISIONE DELLA IAQ <b>A. D'Amico, E. Currà, G. Bergonzoni, A. Pini, P. Monti, G. Confessore, D. Rinaldi</b>	839
END-USER'S PERCEPTION OF THE STATE OF THE BUILDING SYSTEMS THROUGH SENTIMENT AND EMOTION ANALYSIS METHODS <b>M. D'Orazio, E. Di Giuseppe, G. Bernardini</b>	859

IDENTIFYING AND PREVENTING PATHOLOGIES IN ALPINE HUTS AND BIVOUACS: A NEW METHODOLOGY BASED ON TYPE ANALYSIS AND CLUSTERING <b>G. Dorigatti</b>	871
PROGETTAZIONE E VERIFICA SPERIMENTALE DI UN RIVESTIMENTO DI FACCIATA, A BASE DI SCARTI LAPIDEI, PER LA RIDUZIONE DEL RUMORE NEI CANYON URBANI <b>M. Ferrero, A. Coletta, C.V. Fiorini, A. Vallati</b>	887
PATOLOGIA DEL “DETTAGLIO”. LE COPERTURE CONTINUE <b>M. Fiori, E. De Angelis</b>	905
UN PERCORSO METODOLOGICO VERSO EDIFICI ZERO-CARBON <b>G.Iannaccone, F.Pittau, E.Kamel</b>	917
LEG.AT.I – LEGARE I LEGANTI: CEMENTO, TERRA CRUDA E GEOPOLIMERI <b>M. La Noce, G. Sciuto</b>	929
MURATURE STORICHE, UN’ANALISI FEM PER VALUTARNE LE PROPRIETÀ TERMOFISICHE <b>E. La Placa, G. E. Dino, C. Vinci</b>	949
VERDE VERTICALE NEGLI EDIFICI. CAMPAGNA SPERIMENTALE PER LA VALUTAZIONE DELLE PRESTAZIONI TERMICHE DI UNA PARETE VERDE IN AREA MEDITERRANEA <b>G. Lombardo, A. Lo Faro, A. Moschella, G. Sciuto, A. Salemi, M. Detommaso</b>	963
RESIDENTIAL ENERGY RETROFITS: BALANCING DAYLIGHT PERFORMANCE AND OUTDOOR VIEW <b>A.G. Mainini, M. Cavaglià, J.D. Blanco Cadena, A. Speroni, T. Poli, C. Meli</b>	977
COMPLESSITÀ E CAMBIAMENTO CLIMATICO: IL RUOLO DELL’AMBIENTE COSTRUITO ED I METODI PER CONSIDERARE LE INCERTEZZE E MOLTEPLICI OBIETTIVI <b>S. Mannucci, A. Ciardiello, F. Rosso, M. Morganti, M. Ferrero</b>	993
RETROFIT AMBIENTALE DI EDIFICI ESISTENTI: VALUTAZIONE DELL’IMPATTO DI FLUOROCARBURI RESIDUI MEDIANTE ANALISI DI SENSITIVITÀ E INCERTEZZA <b>G. Maracchini, R. Di Filippo, R. Albatì, O.S. Bursi, R. Di Maggio</b>	1011
ARCHITETTURA OSPEDALIERA FLESSIBILE: ANALISI DEL CONTESTO ITALIANO CONTEMPORANEO <b>R. Marmo, G. De Lucia, P. Fiore, E. Sicignano</b>	1029
STRUCTURAL HEALTH MONITORING (SHM) AND THE IMPLEMENTATION OF THE INTERNET OF THINGS (IOT) PARADIGM <b>A. Martinelli</b>	1045
A MULTI-FUNCTION AND COST-EFFECTIVE SENSOR NETWORK SYSTEM DEVELOPMENT FOR INDOOR AIR QUALITY MONITORING APPLICATIONS. VALIDATION PROCEDURE AND EXPERIMENTAL TESTS IN A SCHOOL CLASSROOM <b>F. Nabilou, M. Maresca, A.G. Mainini</b>	1061
KEY ENABLING TECHNOLOGIES PER LA VALUTAZIONE DELL’EFFICIENZA ENERGETICA E DELLA QUALITÀ DELL’ARIA INDOOR NEGLI EDIFICI <b>A. Pagliuca, D. Gallo</b>	1079
ANALISI E OTTIMIZZAZIONE DELLE PRESTAZIONI TERMICHE DI UNA PARETE VENTILATA A STRUTTURA COMPOSITA IN LEGNO E CALCESTRUZZO MEDIANTE CFD <b>S. Pastori, N. Concato, V. Rava, G. Scrinzi, E.S. Mazzucchelli</b>	1093
ANALISI SPEDITIVE PER LA VALUTAZIONE SISMICA DI EDIFICI ESISTENTI IN CALCESTRUZZO ARMATO E MURATURA. IL METODO ADRISEISMIC <b>G. Predari, L. Stefanini</b>	1111

RIVESTIMENTI ELETTRICAMENTE CONDUTTIVI “AUTORISCALDANTI” A BASE DI GRAFENE: PROGETTAZIONE E STUDIO DELLE PRESTAZIONI S. Polverino, S. Bellani, G. Bianca, L. Gabatel, F. Bonaccorso	1127
COME INCREMENTARE LA SICUREZZA MULTIRISCHIO DELL’AMBIENTE COSTRUITO TRAMITE UN APPROCCIO COMPORTAMENTALE: RISULTATI DAL PROGETTO BE S <sup>2</sup> ECURE E. Quagliarini, E. Currà, F. Fatiguso, G. Mochi and G. Salvalai	1147
THERMOPHYSICAL CHARACTERIZATION AND LIFE CYCLE ASSESSMENT OF TWO ALTERNATIVE GREEN ROOF SYSTEMS R. Rapisarda, R. Caponetto, F. Nocera, V. Costanzo, G. Sciuto	1167
TIPOLOGIE MURARIE LOCALI NON INCLUSE NELLA CIRCOLARE N.7/2019 ALLE NTC18: COME ORIENTARSI? IL CASO DELLE MURATURE MISTE IN PIETRA E MATTONI PIENI DELLE MARCHE G. Romano, E. Quagliarini, G. Pace, M. Renzi	1183
ANALISI SPERIMENTALE DI UN NUOVO INTONACO A BASE DI AGGREGATI NATURALI G. Salvalai, A. Stefani, M. Imperadori, G. Nerobutto	1197
UNA CASSETTA DEGLI ATTREZZI PER PARAMETRIZZARE IL BENESSERE DEI FRUITORI E RENDERE SANI GLI AMBIENTI L.M.S. Savoca	1211
OPAQUE FAÇADES ENERGY REFURBISHMENT: DESIGN OPTIONS AND GOOD PRACTICE G. Scrinzi, E. S. Mazzucchelli, A. Lucchini, S. Pastori, A. Stefanazzi	1227
LA RIQUALIFICAZIONE DEL PATRIMONIO EDILIZIO ESISTENTE FINALIZZATA ALLA SICUREZZA E AL BENESSERE. L’OPPORTUNITÀ TECNICA E LE RECENTI AGEVOLAZIONI FISCALI C. Sicignano, F. Polverino	1243
VALUTAZIONE SPERIMENTALE DI UN NUOVO INVOLUCRO IN BLOCCHI TERMICI DAL CONFRONTO CON UNA PARETE LEGGERA S. Summa, G. Remia, C. Di Perna, F. Stazi	1255
IL PAESAGGIO SONORO NELLA PROGETTAZIONE SOSTENIBILE DELL’AMBIENTE COSTRUITO S. Torresin, R. Albatici, F. Aletta, J. Kang	1265

## **C – DESIGN AND BUILDING TECHNOLOGIES**

SVILUPPO DI UN PRODOTTO BASATO SU UN MATERIALE CIRCOLARE: IL CARTONE PER UN’EDILIZIA PIÙ SOSTENIBILE C. Antonetti, M. Rotilio	1283
CONSTRUCTION 4.0: ADDITIVE MANUFACTURING E EDILIZIA MODULARE PER REALIZZARE IL CANTIERE DEL FUTURO C. Battaglia, R. Morbiducci, A. Vitale	1301
URBAN MINING E RIGENERAZIONE: UPCYCLING PER LA CASA DELLA CULTURA A RIETI A. Bellicoso, S. Manna, G. Di Giovanni, G. Angelucci	1315
USO DEI PROTOCOLLI ENERGETICI NELLA PROGETTAZIONE POST EMERGENZIALE: ESPERIENZE A CONFRONTO M. Bellomo	1333

PROCESSI PARTECIPATIVI PER FAVORIRE LA TRANSIZIONE VERSO LA NEUTRALITÀ CLIMATICA. IL CASO DI BOLOGNA A.C. Benedetti, C. Mazzoli, K. Douka, A. Ferrante, L. Cameli, C. Lantieri	1349
SVILUPPO DI UNA PIATTAFORMA COMPUTAZIONALE INTERATTIVA PER LA SIMULAZIONE DI INVOLUCRI RESPONSIVI AD ALTE PRESTAZIONI IN DIVERSI SCENARI CLIMATICI TIPICI E FUTURI F. Carlucci, G. R. Dell’Osso, F. Fiorito	1367
I NOMADI DIGITALI. UNA NUOVA FRONTIERA DELLA CULTURA DELL’ABITARE T. Casale, E. Garda, S. Bulla, G. Di Mari, A. Renzulli	1387
NUOVE PROSPETTIVE DERIVANTI DAL TRASFERIMENTO TECNOLOGICO: ANALISI DEI BREVETTI SUI MATERIALI DA COSTRUZIONE SOSTENIBILI S.M. Cascone, M. Vitale	1403
BUILDING INFORMATION MODELING AND LEED: A REVIEW ON THE POSSIBLE INTEGRATION METHODS S. Cascone, R. Caponetto	1415
ZERO WINDOWS PER PROGETTI FUTURI. UN PERCORSO IMPEGNATIVO FRA TRANSIZIONE ECOLOGICA E TRANSIZIONE DIGITALE A. Cernaro, O. Fiandaca	1429
TECNOLOGIA E CONOSCENZA DIGITALI PER IL PATRIMONIO ARCHEOLOGICO E INDUSTRIALE C.D.L. Cui, D. Simeone, S. Corsi, S. Bortoletto, A. Fioravanti, E. Currà	1447
ECONOMIA CIRCOLARE E NUOVA VITA PER I PRODOTTI DI DEMOLIZIONE EDILIZIA G. D’Angelo, G. Trinchese, A. Verniero, M. Fumo	1465
PROGETTARE LA DENSIFICAZIONE SOSTENIBILE DEL COSTRUITO. CASI STUDIO NELLA RICOSTRUZIONE POST-SISMICA DE L’AQUILA S. De Gregorio, G. Di Giovanni	1483
UN INVOLUCRO TESSILE AD ALTE PRESTAZIONI PER IL RETROFIT DEL PADIGLIONE SPORTIVO DEL COMPLESSO CENTI COLELLA, L’AQUILA G. Di Giovanni, M. De Vita, P. De Berardinis, A. Massari	1497
EFFICIENZA ENERGETICA E CIRCOLARITÀ NEL RIUSO DELLE AREE INDUSTRIALI DISMESSE. IL PARCO SOLARE NELLA CAVA DI S. GIULIANO A L’AQUILA G. Di Giovanni, M. Nardis	1513
SCHOOL BUILDINGS OF XXI CENTURY: STRATEGIC AND EMERGENCY FUNCTIONS, AND NEW DESIGN PARADIGMS C.A. Di Mare, R. Castelluccio	1529
METODO PROBABILISTICO PER LA CORRELAZIONE TRA IMPRONTA DI CARBONIO E TIPOLOGIA EDILIZIA DEL PATRIMONIO ABITATIVO DELL’AREA MEDITERRANEA G. Di Ruocco, F. La Pastina	1545
IL METODO BIM PER LA PUBBLICA AMMINISTRAZIONE ITALIANA: STRATEGIE E CASI REALI P. Fiamma, S. Biagi	1565
STATE-OF-THE-ART OF AUTOMATIC IMAGE SEGMENTATION TECHNIQUES APPLIED ON CULTURAL HERITAGE BUILDINGS V. Giannuzzi, F. Fatiguso	1579

VERSO INSEDIAMENTI URBANI SOSTENIBILI TRA PARTECIPAZIONE E INCLUSIONE <b>A. Greco, V. Giacometti, E. Bifano</b>	1591
VALIDAZIONE SPERIMENTALE DI AMBIENTI VIRTUALI IMMERSIVI PER LO STUDIO DI COMFORT, EFFICIENZA LAVORATIVA E COMPORTAMENTO ENERGETICO DI UTENTI IN AMBIENTI AD USO UFFICIO <b>A. Latini, E. Di Giuseppe, M. D’Orazio</b>	1605
AREE INTERNE INCLUSIVE, UNA POSSIBILITÀ PER LE MADONIE. CRITERI SMART PER RIPROGETTARE IL COSTRUITO STORICO, TRA INNOVAZIONE TECNOLOGICA E ACCESSIBILITÀ <b>L. Lombardo, S. Colajanni, T. Campisi</b>	1621
LA NUOVA FRONTIERA TECNOLOGICA DEL RIVESTIMENTO CERAMICO DI FACCIATA CONTEMPORANEO: LA TERZA DIMENSIONE <b>M. Mangosio</b>	1641
PARAMETRI UMANI PER IL BIM: UN WORKFLOW PROGETTUALE PER UNO SPAZIO A MISURA D’UTENTE <b>M. Martino, M. Nugara, G. Santi, L. Verricelli</b>	1655
IL PARADIGMA DEL GEMELLO DIGITALE PER LA GESTIONE PRESTAZIONALE DEL PATRIMONIO COSTRUITO <b>A. Massafra, R. Gulli</b>	1667
RIQUALIFICARE O DEMOLIRE E RICOSTRUIRE? ANALISI DEGLI SCENARI PROGETTUALI SVILUPPATI SECONDO UN APPROCCIO CIRCOLARE <b>C. Mazzoli, L. Dragonetti, A. Ferrante</b>	1685
TECNOLOGIE APPROPRIATE E INNOVATIVE PER LA SOSTENIBILITÀ: APPLICAZIONE AD UN CASO STUDIO <b>L. Mollo, R. Agliata</b>	1703
SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE DEL COSTRUIRE: METODO F.A.D. COME CHIAVE DI LETTURA DI BUONE PRATICHE DI CIRCOLARITÀ <b>G. Montalbano, G. Santi</b>	1713
INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO ENERGETICO DI UN’AULA ATTRAVERSO LA METODOLOGIA MULTIDISCIPLINARY DESIGN OPTIMIZATION <b>C. Mosca</b>	1729
A PROPOSITO DI GENTRIFICAZIONE. IL PADIGLIONE FUKSAS NEL MERCATO DI PORTA PALAZZO A TORINO <b>A. Renzulli, T. Casale, C. Chiampo, G. Di Mari, E. Garda</b>	1747
OVERVIEW SUL CARTONE ONDULATO COME MATERIALE DA COSTRUZIONE E PROSPETTIVE FUTURE: UNA REVIEW DELLA TECNOLOGIA E LE INNOVAZIONI DEL PROGETTO ARCHICART LIFEHOUSE <b>G. Rodonò, D.L. Distefano, A. Monteleone</b>	1763
MANAGING UNCERTAINTIES IN CONSTRUCTION TENDERING: A DECISION THEORY FRAMEWORK FOR SUPPORTING BIDDERS <b>F. L. Rossini, G. Novembri, E. De Santis</b>	1773
VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA MECCANICA DEL VETRO DI POST-CONSUMO <b>A. Rota, M. Zaccaria, F. Fiorito</b>	1787

IL GEMELLO DIGITALE DELL'EDIFICIO: UN SISTEMA DI SUPPORTO ALLA GESTIONE DELLE UNITÀ DI AUTOCONSUMO <b>G. Rubiu</b>	1801
PRODOTTI DI SCARTO COME MATERIALI DA COSTRUZIONE: STRATEGIA DI MITIGAZIONE DELL'IMPATTO AMBIENTALE <b>E. Santoro, G. Ausiello</b>	1813
PROGETTO, SVILUPPO E PROTOTIPAZIONE DI UNA TECNOLOGIA INNOVATIVA PER MODULI ARCHITETTONICI MULTIUSO, LEGGERI E SOSTENIBILI <b>V. Sapienza, A. Monteleone, G. Rodonò, S. Calvagna</b>	1827
IL MIGLIORAMENTO DELLE PRESTAZIONI ENERGETICO-AMBIENTALI DI PARETI PREFABBRICATE IN CALCESTRUZZO ARMATO ATTRAVERSO L'UTILIZZO DI MATERIALI DI RICICLO <b>A. Sciotti, M. De Fino, F. Fatiguso</b>	1845
EFFICIENZA E CIRCOLARITÀ NELL'USO E NEL RIUSO DELLE RISORSE E DELL'ENERGIA: IL PROGETTO DELL'OSSERVATORIO ASTRONOMICICO DI PIAN DELLA FIOBA A MASSA <b>L. Secchiari</b>	1861
SVILUPPO DI UN METODO INTEGRATO DI VALUTAZIONE DELL'IMPATTO SU SOSTENIBILITÀ E RESILIENZA PER LE INDUSTRIE DELL'ACCIAIO DEL SETTORE DELLE COSTRUZIONI <b>M. M. Sesana</b>	1877
A BIOMIMETIC APPROACH FOR CLIMATE REACTIVE BUILDING ENVELOPES INSPIRED BY PLANTS ADAPTIVE STRATEGIES <b>F. Sommese, G. Ausiello</b>	1895
INNOVAZIONE DIGITALE E PROTOCOLLO ENVISION: UN NUOVO APPROCCIO PER LA VALUTAZIONE DELLA SOSTENIBILITÀ DELLE INFRASTRUTTURE ESISTENTI <b>C. Vite, M. Gaggero</b>	1909
TRANSITION MANAGEMENT SPHERES: NATURE-BASED SOLUTIONS <b>R.M.Vitrano</b>	1923
BLOCCHI STAMPATI IN 3D CON MATERIALE RICICLATO PER EDIFICI INNOVATIVI <b>S. Volpe, V. Sangiorgio, A. Petrella, M. Notarnicola, H. Varum, F. Fiorito</b>	1941

# COMMITTEES

## Directorial Committee

FATIGUSO Fabio  
FIORITO Francesco  
ALBATICI Rossano  
CASCONI Santi Maria

CORRAO Rossella  
GUIDA Antonella Grazia Maria  
POLI Tiziana  
POLVERINO Francesco

## Organizing Committee

CANTATORE Elena  
CHIARANTONI Carla

DE FINO Mariella  
IANNONE Francesco

## Scientific committee

ACHENZA Maria Maddalena  
ALBATICI Rossano  
ARENCHI Alberto  
ATZENI Carlo  
AUSIELLO Gigliola  
BASIRICÒ Tiziana  
BAZZOCCHI Frida  
BELLICOSO Alessandra  
BESANA Daniela  
BRADASCHIA Maurizio  
CAMPISI Tiziana  
CAMPOLONGO Alessandro  
CAPOMOLLA Rinaldo  
CASCONI Santi Maria  
CASTELLUCCIO Roberto  
CATALANO Agostino  
CHINELLATO Francesco  
COLAJANNI Simona  
CORRAO Rossella  
CROATTO Giorgio  
CURRÀ Edoardo

D'ORAZIO Marco  
DALPRA' Michela  
DASSORI Enrico  
DE ANGELIS Enrico  
DELL'OSSO Guido Raffaele  
DI DONATO Danilo  
DI GIOVANNI Gianni  
DI GIUSEPPE Elisa  
DI NASO Vincenzo  
FASCIA Flavia  
FATIGUSO Fabio  
FERRANTE Annarita  
FERRERO Marco  
FIAMMA Paolo  
FIANDACA Ornella  
FIORAVANTI Antonio  
FIORE Pierfrancesco  
FIORI Matteo Paolo Giovanni  
FIORITO Francesco  
FRANGIPANE Anna  
FUMO Marina

GARDA Emilia Maria  
GAROFOLO Ilaria  
GATTI Maria Paola  
GIANNETTI Ilaria  
GRECCHI Manuela  
GRECO Alessandro  
GRECO Laura  
GUARDIGLI Luca  
GUIDA Antonella Grazia Maria  
GULLI Riccardo  
IANNACCONE Giuliana  
IANNONE Francesco  
IORI Tullia  
LIONE Raffaella  
LODDO Gianraffaele  
LOMBARDO Grazia  
LUCCHINI Angelo  
MALIGHETTI Laura Elisabetta  
MANGOSIO Marika  
MARGANI Giuseppe  
MAZZUCHELLI Enrico Sergio  
MECCA Ippolita  
MELE Caterina  
MOCHI Giovanni  
MOLLO Luigi  
MORANDOTTI Marco  
MORBIDUCCI Renata  
MORGANTI Renato Teofilo Giuseppe

MORNATI Stefania  
MOSCHELLA Angela  
MUNAFÒ Placido  
NABONI Emanuele  
PAGLIUCA Antonello  
PIANTANIDA Paolo  
POLI Tiziana  
POLVERINO Francesco  
PUGNALETTO Marina  
QUAGLIARINI Enrico  
RIBERA Federica  
RIGONE Paolo  
RONCHI Alfredo  
SALVALAI Graziano  
SANJUST Paolo  
SAPIENZA Vincenzo  
SCIUTO Gaetano Antonio  
SICIGNANO Enrico  
STAZI Francesca  
TADI Massimo  
TAGLIAVENTI Gabriele  
TOSONE Alessandra  
TURRINI Umberto  
VINCI Calogero  
VITTORINI Rosalia  
ZERBINATTI Marco  
ZORDAN Marcello

## Scientific and Organizing Segretariat

BRUNO Silvana  
BULDO Michele  
CAMPAGNA Ludovica Maria  
CARLUCCI Francesco  
CASSANO Federica  
CHIEPPA Riccardo  
GALANTUCCI Rosella Alessia  
GIANNUZZI Valeria

LAMBERTI Vito  
LASORELLA Margherita  
MARTINELLI Alessandra  
MUSICCO Antonella  
ROTA Angelica  
SCIOTI Albina  
VOLPE Stelladriana



## Come incrementare la sicurezza multirischio dell'ambiente costruito tramite un approccio comportamentale: risultati dal progetto BE S<sup>2</sup>ECURE

### *Making built environment safer in slow and emergency conditions through behavioural assessed/designed resilient solutions: results from the BE S<sup>2</sup>ECURE Project*

E. Quagliarini<sup>1\*</sup>, E. Currà<sup>2</sup>, F. Fatiguso<sup>3</sup>, G. Mochi<sup>4</sup> and G. Salvalai<sup>5</sup>

<sup>1\*</sup> Università Politecnica delle Marche, Ancona, e.quagliarini@staff.univpm.it

<sup>2</sup> Università La Sapienza, Roma, edoardo.curra@uniroma1.it

<sup>3</sup> Politecnico di Bari, Bari, fabio.fatiguso@poliba.it

<sup>4</sup> Università di Perugia, Perugia, giovanni.mochi@unipg.it

<sup>5</sup> Politecnico di Milano, Milano, graziano.salvalai@polimi.it

#### Abstract

Different risk conditions affect the Built Environment (BE), that is a network of buildings, infrastructures, open spaces, and users. They can appear in an unpredictable and quick manner (Sudden-Onset Disasters-SUODs, e.g., earthquakes, terroristic attacks), or emerge gradually over time (SLOW Onset Disasters-SLODs, e.g., climate-change related, pollution, heat waves). Existing BEs, especially historical ones, are generally characterized by a poor resilience level, as shown by many recent disasters. Increasing the BE solutions means to move towards: (1) mitigation strategies focused not only on the buildings, but also on the neighboring network elements, and, mainly, open spaces; (2) the inclusion of user-centered factors (exposure, vulnerability, behaviors) in risk assessment and reduction; (3) SUODs-SLODs combination, pursuing a multirisk perspective also in case low probability-high impact events coupling; (4) supporting stakeholders' assessment with "what if" approaches for multirisk simulation-based evaluations, and with quick preliminary assessment approaches also based on BE typological analysis; (5) exploiting users/stakeholders' training to increase resilience from the bottom. The BE S<sup>2</sup>ECURE – "(make) Built Environment Safer in Slow and Emergency Conditions through behavioural assessed/designed Resilient solutions", supported by MIUR in the context of the Italian PRIN, adopts these standpoints to develop methods, tools, and guidelines for BE resilience assessment, risk-mitigation strategies design, and users' risk awareness increase, by using multirisk and user-centered criteria. This work offers an overview of the main project results, focusing on risk assessment

and mitigation issues in BE typologies (BETs), since they can represent archetypes of real world-based scenarios. Thus, the BET modelling and multirisk behavioural-based assessment could be the basic point for supporting designers and stakeholders to tailor risk mitigation strategies (i.e. architectural interventions, safety management, training via Virtual and Augmented Reality techniques) depending on the case studies specificities.

**Keywords:** historical built environment, multirisk, risk mitigation, squares, slow onset disasters, sudden onset disasters

## 1. Introduzione

Un ambiente costruito (in inglese, Built Environment – BE) resiliente ed inclusivo deve garantire a tutti gli utenti la possibilità di fruire in sicurezza degli edifici, degli spazi aperti e delle infrastrutture che lo compongono. Questo assunto deve essere vero (1) a prescindere dalle condizioni di esposizione, ovvero di numerosità di utenti coinvolti, e di vulnerabilità dei singoli individui, e (2) specialmente in caso di eventi eccezionali, come quelli legati a disastri ad accadimento lento e rapido, nonché alla loro sovrapposizione o concorrenza spaziale e temporale [1–3].

La complessità dei BEs soggetti a disastri è influenzata dai fattori che determinano l’impatto dell’emergenza su di esse e sugli utenti ospitati, in base ai criteri di pericolosità, vulnerabilità fisica, vulnerabilità sociale/individuale ed esposizione [2,4–6]: caratteristiche del sito; localizzazione in aree urbane; aspetti morfologici e costruttivi, nonché di relazione tra i singoli spazi aperti (strade piazze) e gli edifici circostanti e gli altri spazi aperti; valore culturale/sociale del BE, numerosità di persone esposte e loro tipologia (es.: età, sesso, capacità motorie); comportamenti umani (che possono anche portare le persone ad essere esposte a ulteriori minacce); aspetti di gestione e fruizione anche in condizioni ordinarie, che possono portare anche ad andamenti variabili nel tempo (i.e. occupazione, destinazione d’uso, sovrapposizione d’uso). L’interazione tra questi fattori è maggiormente complessa negli scenari storici, date le caratteristiche peculiari degli stessi e del loro uso, che prevede anche la possibilità di significativa attrazione di utenti nel tempo, che possono avere anche scarsa familiarità con procedure di emergenza e luoghi [7]. Tali condizioni possono ripercuotersi anche su un aumento sensibile dell’esposizione, con fenomeni di sovraffollamento delle aree, sebbene anche solo temporaneo [8,9].

Sebbene il tipo di disastro (es. naturale, antropico), la sua prevedibilità e la velocità con cui si manifestano le condizioni di emergenza possano influenzare le interazioni specifiche del sistema, la comprensione dei problemi comuni secondo un approccio olistico all’analisi delle interazioni della comunità ospitata da BE è essenziale sia in eventi ad accadimento rapido (SUODs – Sudden Onset Disasters) che lento (SLODs – Slow Onset Disasters) [10]. Gli SUODs sono innescati da un evento pericoloso che si manifesta rapidamente o inaspettatamente, e sono catastrofici per le loro conseguenze immediate sul BE, con perdite umane, sociali, economiche, culturali per la comunità (e per la sua identità). Tra le diverse tipologie, terremoti e attacchi terroristici sono tra i più significativi nei BE storici, i primi per le caratteristiche di vulnerabilità del costruito [11], i secondi per l’attrattività e il valore simbolico dei luoghi, che si mostrano come veri e propri soft-target [12]. Gli SLODs emergono gradualmente nel tempo, e possono essere indotti da fat-

tori antropici, come quelli legati al cambiamento climatico. In tal senso, l'inquinamento dell'aria e le ondate di calore sono tra gli SLODs principali in ambito urbano anche storico [13,14]. Ad esempio, la combinazione di forti e prolungate ondate di caldo estivo con scarsa qualità dell'aria aggrava notevolmente gli effetti negativi ambientali e può comportare gravi (e invisibili) rischi per la salute umana con scarsa qualità della vita e costi sociali elevati. Recenti studi, anche basati sull'osservazione di eventi reali, hanno puntato l'attenzione sulla necessità di indagare tali emergenze sia in maniera singola (*single risk*) che in maniera multipla (*multi-risk*), specialmente immaginando la possibile sovrapposizione tra gli eventi anche in termini di concorrenza spazio temporale, arrivando alla definizione di condizioni di *coupled events* [3]. In questo contesto, un'ottica "SLOD-to-SUOD" è particolarmente utile per tracciare gli effetti dell'occorrenza di un evento ad accadimento rapido in un ambiente costruito in cui gli utenti stanno già rispondendo, con i loro comportamenti, agli effetti di un evento ad accadimento lento in atto.

Nel BE urbano, gli spazi che maggiormente risultano critici a tali effetti sono gli spazi aperti, e precipuamente le piazze [5,9,15]. Esse, infatti, rappresentano attrattori naturali per gli utenti, in condizioni ordinarie, e spazi di interazione critica con le condizioni ambientali avverse conseguenti agli SLOD. Al contempo, essendo attrattori, possono consentire il sorgere di condizioni di affollamento critico, che, affiancate dalla presenza di soft-target tipici (es.: chiese, luoghi di aggregazione e di rappresentanza) possono aumentare il rischio in caso di attacco terroristico. Oltre a ciò le piazze rappresentano punti nodali nel network di emergenza, divenendo anche punti di aggregazione nell'immediato post-disastro, come in caso di terremoti. Tuttavia, le piazze sono generalmente connotate da una scarsa resilienza: esse sono marginalmente interessate da analisi del rischio e strategie di mitigazione, solo per alcuni rischi, e, solo parzialmente, da normative piuttosto recenti che sono collegate ad usi eccezionali degli spazi [16]. La maggior parte delle soluzioni resta incentrata sugli edifici, mentre le interazioni tra edifici e aree circostanti sembrano essere generalmente trascurate nel processo di stima e riduzione del rischio, sebbene possano portare a condizioni critiche di sicurezza, anche in relazione alle variazioni di uso nel tempo (ad esempio, parcheggi incontrollati o strade inaccessibili possono rendere inadatte le aree aperte vicine). Inoltre, gli approcci di valutazione del rischio e le relative normative [17,18] normalmente considerano la separazione per fattori che influenzano il rischio, nonché per cause ed effetti, senza combinazione SUOD/SLOD. Ad esempio, per gli SLOD con un'intensità variabile nel tempo, come l'inquinamento ambientale [19], le strategie di riduzione del rischio considerano marginalmente il potenziale di BE come elemento di aumento della resilienza (cioè, strategie tipiche adottate per limitare l'inquinamento sono: fermate di veicoli, limitazione della circolazione delle auto, riduzione delle ore di riscaldamento). Infine, mentre i comportamenti degli utenti nelle emergenze indoor sembrano essere ben studiati (ad esempio, sicurezza e salute sul lavoro), le strategie di mitigazione generalmente trascurano le effettive richieste degli utenti e gli effetti sui loro comportamenti (anche tali da aumentare il rischio per scarsa consapevolezza dello stesso) [1,20]. Tuttavia, tali fenomeni e le condizioni della folla possono alterare sensibilmente la sicurezza negli SUODs: fenomeni competitivi e di collaborazione possono essere combinati da movimenti "disturbanti" della folla, fino a ritardi di risposta e di abbandono delle aree pericolose, fughe precipitose e relativi incidenti anche mortali (es. persone schiacciate/calpestate) [21].

Il progetto BE S<sup>2</sup>ECURE ("*make*) Built Environment Safer in Slow and Emergency Conditions

through behavior assessed/designed Resilient solutions”), finanziato nel quadro PRIN 2017 (Progetti di Rilevante Interesse Nazionale) dal MIUR si propone di colmare tali gap migliorando l’integrazione tra processi di conoscenza, valutazione e progettazione di BE quali piazze dei contesti storici, in caso di rischi dovuti a SUOD/SLOD, utilizzando attivamente un approccio incentrato agli utenti (e quindi comportamentale) e multirischio nella valutazione della sicurezza, nella pianificazione delle strategie, nel testing e nel training [22]. Il progetto è stato avviato a settembre 2019 e terminerà a marzo 2024. Questo lavoro espone i risultati del progetto, illustrati seguendo il workflow operativo di Fig. 1. Tale workflow prevede la definizione di tipologie BE (BE typologies- BETs) quali archetipi rappresentanti condizioni ricorrenti derivate da analisi statistiche su casi reali. Le BETs permettono di derivare condizioni di rischio singolo e multiplo rilevanti a seconda della caratterizzazione morfo-tipologica, e rappresentano un utile elemento di modellazione (sezione 2). Le BETs vengono quindi valutate per gli SUODs (i.e. sismico, terrorismo – sezione 3) e SLODs (ondate di calore, inquinamento nell’aria – sezione 4) di rilevanza, derivando anche indicatori (*key performance indicators* -KPIs) per descriverne le condizioni di rischio. A tali aspetti vengono affiancati quelli di vulnerabilità ed esposizione, su base tipologica desunta da analisi di un set significativo di casi studio, includendo anche modellazione ed analisi delle condizioni di emergenza (tramite modelli di simulazione), e i relativi KPIs, incentrati sugli utenti e i loro comportamenti, vengono poi uniti agli altri per derivare metriche olistiche di rischio (sezione 5). Tali metriche permettono di valutare le condizioni di rischio nelle BETs e supportare la proposta e la valutazione di soluzioni di mitigazione orientate al rischio singolo (sezione 6 per SUODs, sezione 7 per SLODs) e multiplo (sezione 8).

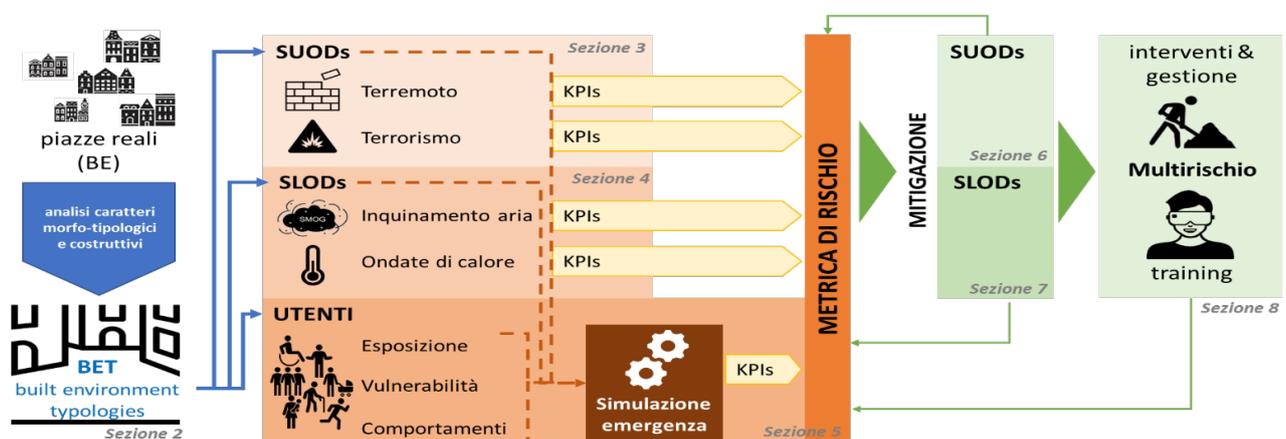


Fig. 1. Workflow del metodo di analisi multi-rischio proposto dal progetto BE S<sup>2</sup>ECURE, con indicazione delle relative sezioni illustrative.

## 2. Built Environment typologies (BETs)

La definizione di tipologie di BE (BE typologies- BETs) è stata finalizzata all’individuazione di archetipi rappresentanti condizioni ricorrenti di aspetti morfo-tipologici e costruttivi per le piazze nelle città storiche italiane (essendo queste spazi aperti, ovvero *open spaces* SO, rilevanti) rispetto alla rappresentazione di fattori che incidono sui rischi SUODs e SLODs. La metodologia

sviluppata ha come base di partenza l'analisi critica della letteratura di settore e la costruzione e analisi di database di casi studio reali, ossia piazze di centri storici italiani distribuiti tra tutte le regioni, e si sviluppa in tre principali fasi. Nella prima fase, sono state individuate e selezionate le caratteristiche fisiche dell'ambiente costruito che hanno una diretta correlazione con i fattori di rischio SUODs/SLODs, attraverso la definizione di una scheda di rilievo speditivo specifica [5]. Nella seconda fase, è stata fornita una definizione quantitativa (attraverso parametri numerici) delle caratteristiche selezionate propedeutica alla definizione di tipologie di ambiente costruito soggette al multi-rischio. La sintesi di questa fase ha individuato i seguenti parametri relativi allo spazio aperto urbano: Configurazione morfologica (P1); Dimensioni (P2); Tipologia strutturale degli edifici prospicienti (P3); Permeabilità (P4); Edifici speciali (P5); Omogeneità tecniche costruttive (P6); Portici (P7); Salti di quota (P8); Presenza di verde (P9). Nella terza fase, infine, a partire dai parametri individuati nelle fasi precedenti, attraverso una metodologia di cluster analysis applicata su un più ampio campione di piazze identificato in ambiente GIS, è stato possibile definire le BETs, quali archetipi dello spazio aperto urbano nelle città storiche italiane e scenari idealizzati per l'applicazione delle analisi multirischio [23]. Tramite analisi cluster, è stato possibile identificare criticamente i seguenti 5 cluster peculiari (Fig. 2), associate ad ulteriori sottotipologie a seconda di valori caratteristici dei parametri considerati:

**Cluster 1:** OS con un livello medio di compattezza e regolarità morfologica, senza problemi di ribaltamento dei fronti, con un rapporto critico tra il numero di accessi e il perimetro, su terreni in pendenza o con variazioni di quota, e senza aree verdi. Il valore che più si è discostato dalla media globale è quello relativo alla pendenza dell'OS. Pertanto, questo cluster è caratterizzato principalmente da OS con il terreno in pendenza o con cambiamenti di quota.

**Cluster 2:** OS con un basso livello di compattezza e regolarità morfologica, senza problemi di ribaltamento dei fronti, con un rapporto critico tra numero di accessi e perimetro, su terreno pianeggiante o leggermente in pendenza, e senza aree verdi. Il valore che più si discosta dalla media globale è quello relativo alla morfologia dell'OS. Pertanto, questo cluster è caratterizzato principalmente da OS con un basso livello di compattezza e regolarità di forma.

**Cluster 3:** OS con un alto livello di compattezza e regolarità morfologica, senza problemi di ribaltamento dei fronti, con un rapporto critico tra numero di accessi e perimetro, su terreno pianeggiante o leggermente in pendenza, e senza aree verdi. Il valore che più si discosta dalla media globale è quello relativo alla morfologia dell'OS. Pertanto, questo cluster è caratterizzato principalmente da OS con un alto livello di compattezza e regolarità della forma.

**Cluster 4:** OS con un livello medio di compattezza e regolarità morfologica, con problemi di ribaltamento dei fronti, senza rapporto critico tra numero di accessi e perimetro, su terreno pianeggiante o leggermente in pendenza, e senza aree verdi. I valori che più si discostano dalle medie globali sono quelli relativi al rapporto tra il numero di accessi e il perimetro dell'OS e il rapporto tra l'altezza dei fronti e la larghezza del SO. Pertanto, questo cluster è caratterizzato principalmente da OS con problemi di ribaltamento dei fronti, ma con un adeguato rapporto tra numero di accessi e perimetro.

**Cluster 5:** OS con un livello medio di compattezza e regolarità morfologica, senza problemi di ribaltamento dei fronti, con un rapporto critico tra numero di accessi e perimetro, su terreno pianeggiante o leggermente in pendenza, e con aree verdi. Il valore che più si discosta dalla media globale è quello relativo alla presenza di aree verdi nella OS. Pertanto, questo cluster è caratterizzato principalmente da OS con aree verdi.

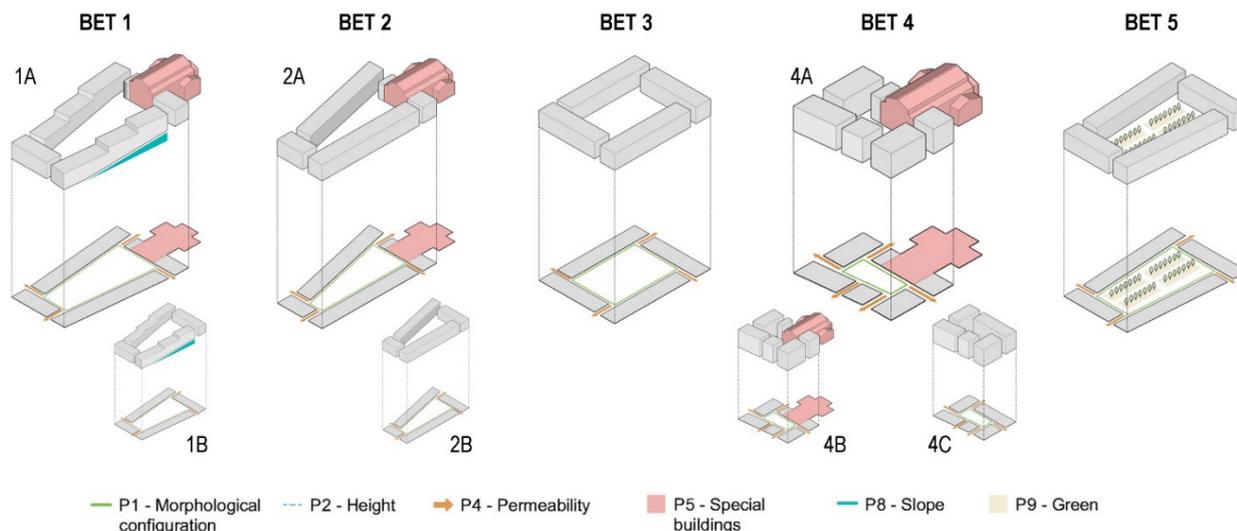


Fig. 2. Rappresentazione delle BETs finali, esito dei risultati della cluster analysis e dell'analisi critica.

### 3. Valutazione BETs per rischi SUOD e relativi Key Performance Indicators

La valutazione per rischi SUODs e lo sviluppo dei relativi KPIs sono articolati rispetto alle due tipologie di emergenza definite nel progetto, secondo lo schema di Fig. 1, ovvero rischio sismico (sezione 3.1) e terrorismo (sezione 3.2).

#### 3.1. Valutazione per rischio sismico

Il rischio sismico nelle BETs è valutato tramite metodi speditivi per quantificare la vulnerabilità edilizia dei fronti costruiti delle BET e la conseguente stima di macerie a terra causate dal loro danneggiamento a seguito del sisma [24,25].

La vulnerabilità viene in questo modo valutata attraverso un nuovo metodo empirico e speditivo [24], sviluppato nell'ambito del progetto di ricerca, convalidato rispetto a metodi empirici e analitici esistenti e confrontato su casi studio rispetto ai danni reali registrati a seguito del terremoto dell'Italia centrale del 2016. La valutazione segue l'impostazione dei metodi empirici *Vulnerability Index Method* (VIM) e si compone di 5 parametri relativi alla geometria e alle caratteristiche costruttive del fronte dell'edificio indagato che affaccia sullo spazio aperto. Ad ogni parametro viene assegnato un punteggio secondo quattro classi di vulnerabilità crescente, moltiplicato poi per il peso del singolo parametro. Il valore finale restituisce l'indice di vulnerabilità della facciata ( $I_{vf}$ ), che viene combinato con il livello di pericolosità sismica del sito attraverso la matrice di danno per restituire il danneggiamento atteso della facciata secondo una scala costituita da 5 stati di danno (*ND-No Damage*, *LD-Light Damage*, *MD-Medium Damage*, *SD-Severe Damage*, *NC-Near Collapse*, *C-Collapse*) [25]. Solamente gli stati di danno più ingenti, NC e C, definiscono un danneggiamento che provoca rispettivamente fino al 25% e oltre il 75% del ribaltamento della facciata tale da determinare la presenza di cumuli di macerie a terra. Pertanto, per definire l'area di suolo occupata da macerie è stato elaborato un ulteriore contributo originale del progetto di ricerca, un metodo sperimentale rapido basato su assunzioni geometriche sulla profondità del

cumulo di detriti a terra. Il metodo proposto è stato elaborato per tre principali tipologie di edilizia presenti nei contesti storici: edilizia seriale (es. aggregati edilizi storici), edilizia di tipo “palazzi” e chiese.

In ragione dell'impostazione metodologica delle BETs, per cui non sono definite le caratteristiche geometrico-costruttive delle facciate ad esclusione dell'altezza, né il livello di pericolosità del sito, sono state attuate delle semplificazioni per l'applicazione del metodo. Pertanto, per ottenere degli scenari di danno differenti e verosimili, utili a verificare il comportamento della BET in diverse occorrenze, è stata ipotizzata una distribuzione del livello di vulnerabilità delle facciate non-omogenea all'interno dei fronti della BET, ipotesi che appare anche più verosimile di un unico fronte omogeneo. In altri termini, ad alcuni fronti sono stati associati livelli di vulnerabilità medio-bassa (Iv1-Iv2), ad altri, livelli di vulnerabilità alta (Iv3-Iv4). Di conseguenza, per valori di vulnerabilità medio-bassi si ottengono stati di danno senza macerie (accessi liberi – e quindi via di fuga – alla BET), mentre per la vulnerabilità alta stati di danno con macerie (accessi ostruiti da macerie). Il risultato degli scenari di rischio sismico è rappresentato in mappe di danno sismico che individuano l'area a terra occupata da macerie, per ciascuna tipologia di BET. Dall'elaborazione di questo metodo è stato definito il relativo KPI, che definisce il livello di occupazione di suolo dello spazio aperto, quindi il livello di accessibilità durante la fase di evacuazione.

### 3.2. Valutazione per rischio terrorismo

A differenza dell'ampia casistica dei rischi a rapido accadimento naturali, gli eventi terroristici sono caratterizzati dalla combinazione dell'interazione tra le capacità di scelta del perpetratore e il sistema spazio-utenti dell'ambiente costruito. Ciò in conseguenza alla necessità di massimizzare l'effetto di un attacco, combinando la scelta del punto di attacco per simbolicità dei luoghi o numerosità di utenti presenti nello spazio con le modalità dell'azione. Seppur nella molteplicità delle casistiche possibili, l'analisi sistematica del fenomeno a scala europea ha evidenziato specifiche ricorrenze: da un lato nell'uso di veicolo su folla (T2) e arma bianca (T3) tra le tipologie di attacco più comuni (AT), dall'altro la scelta di luoghi a basso profilo di sicurezza (ad esempio, attività commerciali), di pubblico servizio (municipi, ma anche attività di ristorazione) o simbolici (chiese).

I fattori rilevanti che concorrono alla valutazione nell'ambiente costruito storico evidenziati dall'analisi sistematica dello stato dell'arte sul tema [20,26] sono i seguenti:

- le caratteristiche morfologiche, quali la forma e la dimensione dello spazio aperto, e gli aspetti planodistributivi, che influenzano le capacità di raccolta degli utenti e i processi evacuativi emergenziali;
- i modelli d'uso dello spazio urbano e degli edifici prospicienti – edifici speciali, luoghi di attrattività sociale e turistica – per i quali la quantità di utenti presenti incide, da un lato, sul potenziale esposto, e, dall'altro, sulla vulnerabilità dello stesso, in termini di percezione di massimizzazione dell'efficacia dell'attacco (per simbolicità dell'evento e numerosità di vittime).
- l'accessibilità al sito (ad esempio ZTL, sistemi di controllo degli accessi) e la possibilità di stazionamento veicolare (e.g. aree a parcheggio) che incrementano la vulnerabilità ad attacchi con automezzi e auto-bomba.
- gli elementi complementari – arredo urbano, monumenti, dehors – intesi come oggetti che influenzano il rischio nello spazio aperto, in termini decrementativi se svolgono azione di pro-

tezione per gli utenti prima e durante l'attacco (dissuasori per limitare l'accesso veicolare e grandi ingombri opachi di difesa quali monumenti e giardini alberati) o incrementativi se risultano di ostacolo ai processi di fuga (panchine, paletti con catene).

Appare quindi evidente che il processo di valutazione del rischio per l'ambiente costruito, seppur in ambiente tipizzato, richieda che siano attenzionati specifici indici di performance in grado di misurare:

1. La numerosità degli utenti esposti, considerando la combinazione degli affollamenti per l'uso dello spazio aperto a quelli degli "attrattori" sociali, culturali e turistiche (edifici speciali, attività commerciali);
2. La numerosità degli utenti coinvolti nell'evento traumatico (morti e feriti);
3. La capacità degli ostacoli, comprendendo arredi urbani ed elementi monumentali, di orientare e/o ostacolare percorsi di evacuazione, sia lungo la frontiera che all'interno dell'ambiente costruito;
4. L'estensione di eventuali aree di protezione interne all'ambiente costruito e la loro capacità massima di accogliere utenti durante l'attacco, determinata dalla presenza di elementi caratterizzati da efficace capacità di protezione (elementi opachi impenetrabili, sistemi antisfondamento);
5. Le potenzialità geometriche dello spazio confinato (planarità, numerosità e dimensioni dei varchi) di garantire il mantenimento di una velocità costante;
6. I tempi di evacuazione post-attacco verso l'esterno dell'ambiente oggetto di attacco;
7. Le interferenze tra gli utenti durante l'evacuazione, i.e. in termini di contatti fisici e interazione con assalitori.

#### 4. Valutazione BETs per rischi SLOD e relativi Key Performance Indicators

Questo lavoro si basa su una robusta metodologia di analisi del microclima di unità urbane su scala meso/macro attraverso l'implementazione delle BET [27]. Utilizzando le BET e i climi rappresentativi, o quello più rappresentativo, di una determinata regione è infatti possibile simulare e mappare rapidamente i microclimi e identificare i potenziali rischi all'interno degli spazi aperti nelle aree urbane. Per identificare tali rischi, si calcolano i valori dell'indice universale di comfort termico (UTCI [°C]) e l'indice di qualità dell'aria (AQI) in aree differenziali dello spazio aperto. Le condizioni di accettabilità correlate al calore sono poi assunte come indicatori della presenza delle persone in una determinata area, sulla base dei valori di UTCI. Sono infine definite e mappate tre categorie di rischio potenziale (alto, intermedio e basso) legate al valore di UTCI e di AQI presente in una certa area, alle quali sono poi collegati KPIs di rischio per la salute.

L'UTCI è un indice ampiamente utilizzato che valuta il comfort termico sulla base di: temperatura dell'aria e delle superfici circostanti, irraggiamento solare, velocità del vento e umidità relativa [28]. In base al valore di tale parametro si individuano sette livelli di sensazione termica che definiscono la gravità del rischio a cui sono sottoposti gli utenti. Analogamente, l'AQI è ampiamente utilizzato e accettato dalle comunità scientifiche e industriali per comunicare la qualità dell'aria che respiriamo. Si basa sulla differenza massima tra le concentrazioni di inquinanti atmosferici rilevate in un'area specifica e i valori limite per la salute suggeriti [29]. A tali differenze viene attribuito un punteggio in una scala composta da sei categorie stabilite, che vanno da una qualità dell'aria buona a una dannosa per la salute.

Il risultato dell'analisi sull'UTCI permette di determinare dove le persone sono più propense a

rimanere durante le condizioni di forte stress termico e l'estensione delle aree a basso rischio potenziale negli spazi aperti, in accordo alle metodologie legate all'accettabilità delle condizioni termiche [30]. Sovrapponendo queste aree con quelle mappate per altri tipi di rischio è possibile determinare le zone degli spazi aperti soggette a basso rischio in un'ottica multirischio.

In questo progetto, i livelli legati a sensazioni di discomfort termico e qualità dell'aria sono stati correlati alle tre categorie di rischio definite: rischio potenziale alto con UTCI superiore a 38°C – AQI superiore a 200; intermedio, con UTCI tra 32°C e 38°C – AQI tra 100 e 200; e rischio potenziale basso, con UTCI inferiore a 32°C – AQI inferiore a 100.

Infine, per quantificare l'entità del rischio sulla salute umana derivante da SLOD, sono stati adottati due indicatori: (i) rischio di perdita d'acqua per fascia d'età (WLRage) e (ii) rischio di inquinamento a breve termine per fragilità sanitaria (SPRfrailty). Entrambi sono stati calcolati combinando valutazione sul microclima della BET, secondo mappe sopra indicate, con valutazioni di tipo demografico e di caratterizzazione delle fasce di età individuate, derivanti dalla letteratura. In particolare, per quanto riguarda l'UTCI è stato assegnato un tasso di sudorazione, mentre per l'AQI è stata calcolata una differenza di concentrazione di inquinanti arrotondata al decimo più vicino.

Da un punto di vista metodologico, le BET costituiscono il contesto tipologico in cui studiare nel dettaglio l'aumento delle temperature e delle concentrazioni di inquinanti, e quindi gli effetti delle ondate di calore e della qualità dell'aria. In particolare, per questi fenomeni è possibile stimare la distribuzione del rischio potenziale a cui sono sottoposti gli utenti all'interno dell'ambiente costruito definendo come parametri di partenza la geometria, i materiali (caratterizzati dal valore di albedo), le condizioni climatiche e di traffico e le concentrazioni di inquinanti medie presenti nell'area. Nel caso oggetto di analisi, attraverso gli ambienti ENVI-met e Rhinoceros, selezionati per la flessibilità e la facilità di modifica dei dati in ingresso, sono state analizzate le distribuzioni spaziali del calore e degli inquinanti secondo una griglia con maglia 5x5 m, imposta dalle condizioni di calcolo del software ENVI-met. Successivamente i dati ricavati sono stati processati per comunicare visivamente attraverso mappe il rischio a cui sono esposti gli utenti in termini di UTCI e AQI.

## **5. Dalla valutazione di esposizione e vulnerabilità degli utenti nelle BETs alla metrica di rischio**

Il fattore umano è uno degli aspetti chiave per la valutazione del rischio nel BE, sia per SUODs che per SLODs, perché gli aspetti di esposizione e vulnerabilità degli utenti ne condiziona la quantità di individui esposti, le loro condizioni specifiche, e le loro reazioni al pericolo. In questo senso, il progetto ha considerato congiuntamente l'esposizione (quanti utenti sono in pericolo?) e la vulnerabilità degli utenti/sociale (quanto e come sono vulnerabili gli utenti a quel determinato rischio?) analizzando BE reali per derivare relative condizioni tipologiche, caratterizzanti sia lo spazio esterno che gli edifici che si affacciano su essi [9]. Gli indicatori principali per la creazione di scenari riguardano la densità di utenti [pp/m<sup>2</sup>], la percentuale di utenti per familiarità con l'ambiente (residenti/non residenti), per fascia di età, per sesso, per distribuzione in esterno (maggiormente soggetti agli SLODs e al rischio terrorismo nella piazza) ed interno (per maggior

propensione al rischio sismico) e per tempo di frequentazione della piazza (passanti, utenti esterni/interni a maggior permanenza). Tali valori sono variabili nel tempo, dato l'uso dell'ambiente costruito in base alla funzioni ospitate.

Le condizioni tipologiche sono utilizzate per stabilire gli scenari di input dell'ambiente costruito riguardo agli utenti, popolando quindi la piazza e gli edifici frontistanti in termini probabilistici. Esse devono essere poi combinate in termini di scenario con le condizioni delle BET in termini di morfologia e vulnerabilità, nonché di caratterizzazione dell'emergenza considerata, per eseguire valutazioni basate su simulazioni [31], secondo lo schema di Fig. 3.

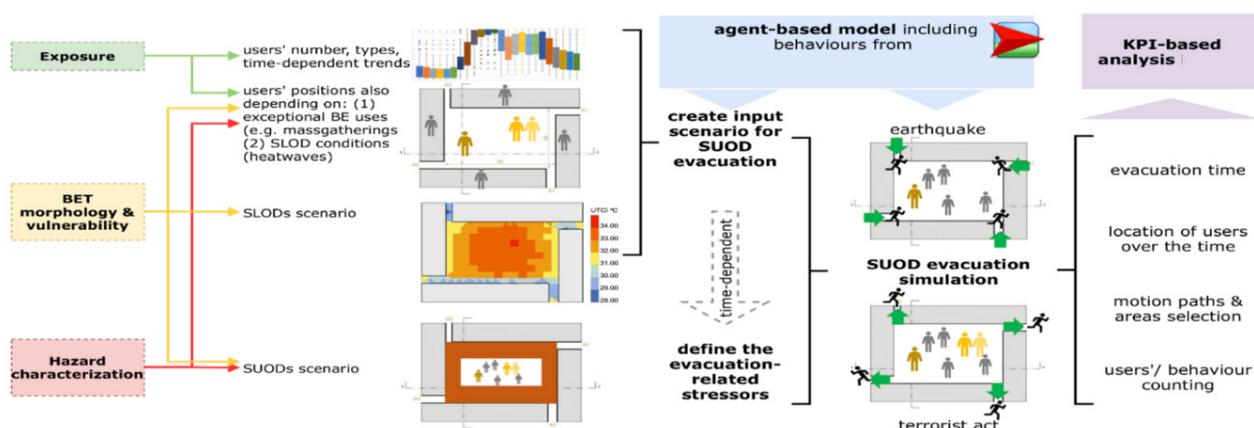


Fig. 3. Flusso di simulazione delle condizioni di rischio e relativa valutazione tramite KPIs su base comportamentale.

Nel flusso di lavoro, le condizioni SLOD (sezione 4) vanno a modificare la probabilità di posizionamento iniziale delle persone nella piazza, e in particolare negli spazi esterni. Eventi ad accadimento rapido implicano l'evacuazione dalla (terrorismo, in questo studio, per attacco con veicolo sulla folla o a mano armata) o verso la (terremoto) BET, e, grazie ad un modello di simulazione ad agenti (che sfrutta le potenzialità degli automi cellulari per ridurre i tempi di calcolo e descrivere efficacemente gli effetti di densità sul movimento) [31] è possibile stimare modalità di interazione tra i singoli utenti simulati. Specifici KPIs comportamentali riguardano il tempo di evacuazione al 95° percentile (per mitigare gli effetti marginali di posizione o scelte comportamentali degli utenti simulati) [s], gli effetti di interazione tra la folla che implicano possibili contatti fisici problematici nel movimento [eventi/s], il numero di morti e feriti conseguenti all'evento [pp], il numero di evacuanti che riescono a completare l'esodo (escludendo quindi presone che non raggiungono zone effettivamente sicure nel tempo di evacuazione) [pp], e flussi normalizzati di evacuazione (per stabilire la "rapidità" del processo di esodo) [pp/s/m]. Tali KPIs sono poi combinati a quelli derivati dai singoli SUODs che implicano l'inizio dell'evacuazione (sezione 3), e resi adimensionali in un campo di esistenza tra 0 (rischio minimo) e 1 (rischio massimo), grazie a normalizzazione anche rispetto a valori di riferimento in letteratura (es.: per i flussi). I KPIs possono essere direttamente comparati tra loro in condizioni BET differenti, per identificare le criticità peculiari di ogni scenario. Inoltre, sono combinati tra loro tramite l'Analytical Hierarchy Process (AHP) basato sui criteri del decision group [32]. Esso prevede che diversi decisori assegnino l'importan-

za reciproca tra i KPIs, tramite comparazione e coppie, per poi unire i risultati dei singoli processi AHP e definire, su base aggregata, quali sono i pesi relativi finali di ogni KPI. La metrica finale è il risultato della sommatoria pesata dei KPIs, distinguendo due metriche, in particolare, per sisma e terrorismo, data la loro fenomenologia. Al termine, i singoli KPIs e le metriche possono comparare trend legati agli input di scenario (e quindi a BET, peculiarità degli SUODs e parametri legati agli utenti), come pure tra BET diverse, per definire quali archetipi risultano essere più rischiosi degli altri, e quindi anche tra loro condizioni diverse (es.: pre e post-mitigazione).

## 6. Strategie di intervento per SUOD: esempi applicativi nelle BETs

La mitigazione del rischio SUOD riguarda, in primo luogo, soluzioni specifiche per il rischio sismico (sezione 6.1) e per il rischio terrorismo (sezione 6.2), in accordo allo schema di Fig. 1.

### 6.1. Strategie di intervento per rischio sismico

Le strategie di riduzione e mitigazione del rischio sismico alla meso-scala possono essere raggruppate in tre ambiti [33]: (i) fattori morfo-tipologici dello spazio aperto; (ii) caratteristiche fisiche e costruttive dell'ambiente costruito, in relazione all'efficienza dei collegamenti dell'intero sistema urbano, e alla vulnerabilità edilizia delle facciate che affacciano su piazze e strade; (iii) aspetti legati all'esposizione e al comportamento degli utenti esposti.

Le valutazioni alla meso-scala sui fattori morfo-tipologici coinvolgono sia gli spazi aperti (piazze, strade) sia le loro connessioni all'interno del tessuto urbano, al fine di valutarne la permeabilità e accessibilità, ad esempio rispetto alla "qualità" degli accessi (numero, larghezza e posizione)[34]. L'applicazione di strategie che possano incrementare la resilienza del tessuto urbano è tuttavia limitata all'invasività delle possibili soluzioni, soprattutto in ambienti urbani consolidati come i centri storici, che rendono molto spesso impossibile intervenire in questo senso.

La riduzione della vulnerabilità edilizia rappresenta pertanto uno dei principali obiettivi per la riduzione del rischio sismico, in quanto riduce direttamente le probabilità di danneggiamento degli edifici e gli impatti diretti sugli utenti presenti all'interno e all'esterno. La maggior parte degli studi di settore fornisce metodi per identificare gli interventi prioritari di miglioramento sismico per risolvere le debolezze strutturali soprattutto nei riguardi dei cinematismi fuori piano (miglioramento della qualità muraria, presidi antisismici, eliminazione delle spinte di copertura, ecc.). In riferimento all'ambito di applicazione delle BETs, non risulta possibile individuare analiticamente delle strategie di intervento sulla vulnerabilità, in quanto nella caratterizzazione tipologica delle BETs non sono definiti puntualmente i fattori geometrico-costruttivi necessari al calcolo dell'indice di vulnerabilità delle facciate.

Tuttavia, può essere analizzata l'operabilità dello spazio aperto in relazione all'area libera da ostacoli, ovvero dalle macerie a terra a seguito dei danneggiamenti all'ambiente costruito, per l'individuazione delle aree "sicure" funzionali alla pianificazione dell'evacuazione [25,35]. Gli scenari di rischio sismico rappresentati con le mappe di danno e maceria (sezione 3.1) sono input per simulazioni agent-based sul movimento degli utenti all'interno dello spazio aperto della BET. I risultati di tali analisi supportano la redazione dei piani di emergenza nel prevedere le condizioni critiche che possono verificarsi durante le fasi di evacuazione, al fine di pianificare le corrette procedure di gestione dell'emergenza.

## 6.2. Strategie di intervento per rischio terrorismo

Coerentemente con gli scenari più ricorrenti di modalità di attacco individuati per lo studio del fenomeno (veicolo su folla T3 e arma bianca T2), l'individuazione delle strategie di intervento per la mitigazione del rischio è derivata dalla sistematizzazione dell'analisi dei parametri che influenzano la vulnerabilità, la letteratura e i quadri normativi europei per la gestione del rischio, nonché degli elementi rappresentati e rappresentabili nei modelli tipizzati. In tal senso si evidenziano, per le differenti modalità di attacco (T2 e T3) tre classi di soluzioni (ST):

1. Inserimento di elementi mitigativi lungo gli accessi carrabili dello spazio aperto (T3), funzionali alla riduzione dell'accessibilità ai mezzi (ST1). In tale strategia rientrano tutte quelle soluzioni tecnologiche caratterizzate da proprietà di antisfondamento elevato tipiche della gestione degli accessi (bollard, bollard a scomparsa) come pure arredi urbani (fioriere, panchine e alberature).
2. Inserimento di elementi di protezione interni all'ambiente tipizzato al fine di incrementare l'estensione delle aree sicure rispetto a scenari e punti di attacco plausibili con le condizioni di esposizione (ST2). In tal senso, in accordo con il KPI12, gli elementi sono caratterizzati da resistenza meccanica e impenetrabilità (i.e., alberature, monumenti, fioriere) al fine di garantire sicurezza per entrambe le modalità di attacco (T2, T3).
3. Infine, l'educazione emergenziale degli utenti (T2, T3) (ST3). In tale categoria sono sottesi i principi educativi di alcuni paesi europei ("*S'échapper; Se Cacher; Aerter*" e "*Hide, Run, Tell*") [20] in cui l'utente coinvolto nell'evento traumatico, è invitato a raggiungere i punti di protezione o ad abbandonare il luogo dell'evento. In maniera complementare alla soluzione ST2 che caratterizza le aree sicure nelle fasi pre e durante l'evento traumatico, le ST3 agiscono sul processo di evacuazione e quindi sui caratteri dinamici dello stesso (i.e., tempo).

## 7. Strategie di intervento per SLOD: esempi applicativi nelle BETs

L'applicazione delle strategie di mitigazione alle BET si basa su un'attenta valutazione delle soluzioni presenti in letteratura [33] con conseguente selezione delle strategie di intervento più idonee in relazione ai rischi/combinazioni di rischi a cui è soggetta ciascuna BET. Per le soluzioni più utilizzate in ambito professionale per la mitigazione dei rischi lenti (SLOD), è stato valutato l'effetto potenziale sui singoli rischi e sulle loro combinazioni in un'ottica di analisi multirischio e di incremento della resilienza dell'ambiente costruito. Le principali strategie di mitigazione analizzate e successivamente simulate nell'ambito dei rischi SLOD (in particolare l'ondata di calore e l'inquinamento atmosferico) riguardano l'implementazione della vegetazione e la riduzione delle temperature superficiali di edifici e spazi aperti.

Le simulazioni sono state effettuate in un primo momento sullo stato di fatto delle BET, ovvero analizzando unicamente la geometria dell'ambiente costruito e degli spazi aperti e applicando agli altri parametri dei valori da letteratura. Successivamente sono state applicate a ciascuna BET le strategie di mitigazione che, tra quelle individuate in letteratura, meglio rispondono alle condizioni di rischio/combinazione di rischi a cui è sottoposta la BET stessa. La Fig. 4 riporta un estratto esemplificativo dei risultati relativi alle strategie di mitigazione con maggior impatto su UTCI e AQI applicate alla BET 2A, considerando il clima della città di Mi-

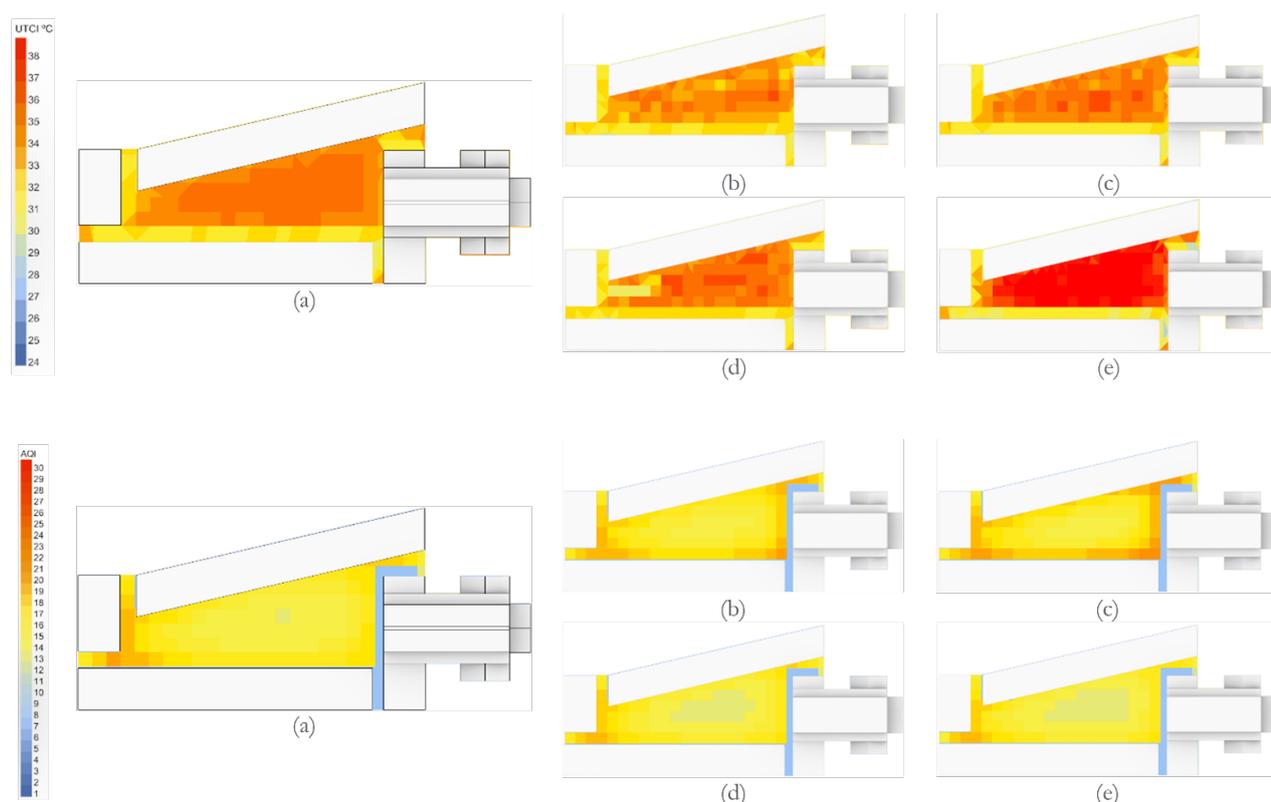


Fig. 4. Mappe di rischio per UTCI (alto) e AQI (basso) per la BET 2A con condizioni climatiche di Milano, (a) stato di fatto della BET, (b) applicazione della strategia di mitigazione con alberi, (c) applicazione della strategia di mitigazione con siepi, (d) applicazione della strategia di mitigazione con elementi ombreggianti puntuali per UTCI e di green wall per AQI, (e) applicazione della strategia di mitigazione con *cool pavement* per UTCI e *green roof* per AQI.

lano, rappresentativo a causa del forte inquinamento e dell'elevata frequenza di ondate di calore rilevati nell'ultimo decennio [36]. Per quanto riguarda l'UTCI (Fig. 4 – alto), le soluzioni con la presenza di alberi, (b), e siepi, (c), posizionati lungo il perimetro dello spazio aperto dimostrano l'impatto della vegetazione nel ridurre in modo diffuso il rischio legato alle elevate temperature. Le soluzioni ombreggianti puntuali, (d), hanno al contrario effetto unicamente nella porzione di spazio aperto dove sono ubicate. Le soluzioni che prevedono l'utilizzo di *cool pavement* (e), invece, nonostante l'effetto di riduzione delle temperature superficiali riscontrato in letteratura, provocano un aumento del rischio a cui sono sottoposti gli utenti a causa dell'elevata riflessione della radiazione solare. Considerando l'AQI (Fig. 4 – basso), le soluzioni con la presenza di alberi, (b), e siepi, (c), posizionati lungo il perimetro dello spazio aperto dimostrano l'impatto della vegetazione nel trattenere gli inquinanti in prossimità della loro fonte (veicoli di passaggio sulle strade perimetrali). Le soluzioni che prevedono l'utilizzo di *green wall*, (d), e *green roof* (e), invece, grazie ad una maggiore distribuzione del verde, riducono in modo diffuso il rischio legato all'inquinamento e sono in grado di migliorare la qualità dell'aria in tutto lo spazio aperto.

## 8. Strategie di intervento in ottica multirischio: esempi applicativi nelle BETs

Le strategie di intervento per l'incremento della resilienza in ottica multirischio possono essere basate su due modalità di approccio [33]. Il primo livello riguarda l'implementazione di soluzioni nell'ambiente costruito sia di tipo architettonico che di tipo gestionale (sezione 8.1), mentre il secondo concerne aspetti di training in grado di migliorare il livello di conoscenza del multirischio e delle corrette modalità di risposta comportamentale di tipo individuale (sezione 8.2).

### 8.1. Implementazione di soluzioni architettoniche e gestionali nelle BETs

L'applicazione di soluzioni architettoniche e gestionali nelle BETs vede tre sotto livelli: fattori morfologici, aspetti costruttivi e vulnerabilità fisica; sistemi di gestione dell'emergenza (Fig. 5-A) [33]. La loro adozione specifica è comunque condizionata dalle caratteristiche di base delle BET a livello morfo-tipologico, costruttivo, di esposizione e vulnerabilità degli utenti, e di combinazione SLOD-SUOD di interesse. Un esempio rilevante, in maniera comunque trasversale, riguarda

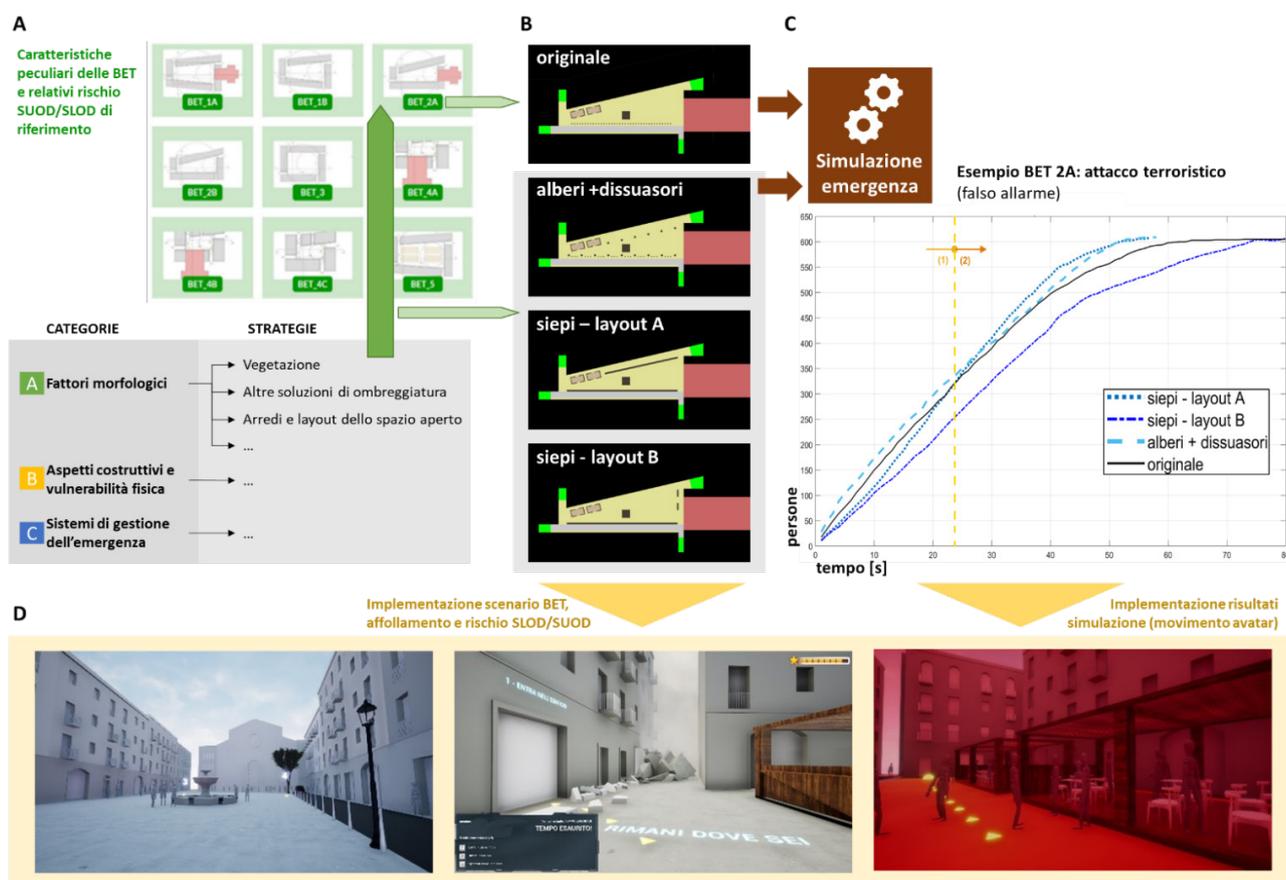


Fig. 5. Processo di valutazione delle strategie in ottica multirischio: (A) categorie principali, relative strategie e applicazione alle BET; (B) implementazione applicativa sull'esempio della BET 2A per soluzioni basate su vegetazione, alberature e altri ostacoli fissi nella piazza; (C) risultati del processo di simulazione per evacuazione con comparazione delle curve di esodo per gli scenari considerati; (D) virtual training (da sinistra: ambiente di gioco, sessione di gioco ondata di calore e sessione di gioco sisma) basato su implementazione delle condizioni di BET, affollamento, rischi SLOD/SUOD e risultati di simulazione (per movimento avatar).

la possibilità di implementare elementi di layout esterno che possano integrare soluzioni verdi quali siepi, fioriere (ancorate saldamente al suolo) e alberature, configurate in maniera continua per delimitare spazi e creare “corridoi” per il movimento degli utenti (Fig. 5-B nell'applicazione esemplificativa della BET 2A). Esse possono essere combinate a ostacoli come dissuasori (anche mobili) che garantiscono una buona organizzazione spaziale pur minimizzando l'impatto sulla BET da un punto di vista estetico [20].

Analisi preliminari di simulazione [31], infatti, hanno verificato l'impatto delle stesse in primis per SLODs (vedi sezione 7) riducendo, ad esempio, l'effetto diretto dell'UTCI e dell'esposizione agli inquinanti dell'aria. Queste soluzioni alterano anche la posizione iniziale delle persone (sezione 5) creando specifiche aree a maggior attrattività per minor UTCI: risultati tramite simulazione hanno mostrato la possibilità di incrementare la rapidità del processo di esodo quando tali aree sono poste lungo le direttrici di accesso/uscita dalla piazza. Similmente, l'impatto positivo è stato notato anche rispetto ai flussi di evacuazione da (attacco terroristico) e verso (sisma) la piazza da parte degli utenti (creando direzioni organizzate di moto) per entrambi gli SUODs di riferimento, nonché di mitigazione dagli effetti diretti di attacchi terroristici (i.e. limitando la penetrazione di veicoli nella parte pedonale della piazza; creando aree di protezione per gli utenti in caso anche di attacco all'arma bianca), in accordo alle strategie generali evidenziate in letteratura [20]. Ad esempio, per la BET 2A, la presenza di alberi diminuisce gli effetti dell'UTCI (vedi sezione 7, Fig. 4). Inoltre, considerando in essa un evento terroristico senza morti (es.: “falso” allarme), la soluzione legata alla presenza di alberi e dissuasori accelera la prima parte del processo di esodo (Fig. 5-C, parte 1 del grafico, ovvero entro circa 25 s) di circa il +10% in termini di flusso rispetto alla condizione originale (soli dissuasori implementati, senza effetto favorevole dell'UTCI nella distribuzione iniziale di popolazione), mentre riducono del 16% circa il tempo al 95° percentile degli evacuanti (Fig. 5-C, parte 2 del grafico).

## 8.2. Soluzioni basate sul training

Un ruolo chiave nel miglioramento della resilienza al rischio di città e comunità urbane è comunemente attribuito a strategie di formazione e comunicazione basate sulla realtà virtuale (in inglese virtual training), in grado di aiutare i cittadini a sviluppare comportamenti e conoscenze utili ad affrontare condizioni di pericolo contingente, rafforzandone nel contempo la responsabilità partecipativa rispetto a un processo più ampio di sicurezza e sostenibilità [37,38] In tal senso, il progetto BES<sup>2</sup>ECURE ha sviluppato un prototipo di ambiente immersivo di gioco con finalità educative (in inglese serious game) che istruisce gli utenti in scenari combinati di ondata di calore e sisma. Per lo scopo, il prototipo è stato concepito secondo la logica SLOD-to-SUOD di cui detto, per cui in un ambiente costruito dove gli utenti stanno già rispondendo agli effetti di un evento ad accadimento lento in atto (fase 1 – ondata di calore), si verifica un evento ad accadimento rapido (sisma – fase 2) al termine del quale occorre aver raggiunto un luogo considerato sicuro (post-sisma – fase 3). Coerentemente, l'ambiente virtuale è stato popolato con una serie di contenuti informativi direttamente rinvenienti dalle analisi di progetto, al fine, da un lato, di rappresentare gli spazi e i fenomeni di interesse sulla base di modellazioni quantitative affidabili, dall'altro, di sperimentare la veicolazione di contenuti specialistici in modalità pervasiva a favore di fruitori non esperti. Inoltre, esso ha incluso i risultati di simulazione circa il movimento degli

agenti in caso di SUOD (cfr sezione 5 e sezione 8.1) così da mostrare all'utente, durante il test, come altri possibili avatar possano rispondere all'emergenza. Più in dettaglio, il prototipo (Fig. 5-D): si riferisce ad un ambiente tipologico (BET), per cui si è riscontrata la più elevata corrispondenza a casi reali, nell'ottica dell'ampia e versatile replicabilità delle soluzioni (vedi sezione 2); visualizza, sotto forma di mappe interattive e di animazioni grafiche, l'andamento dell'UTCI nello spazio aperto (vedi sezione 4) e l'estensione delle macerie in relazione alla vulnerabilità dei fabbricati (cfr. sezione 3); rappresenta posizione e movimento della folla, sulla base di modelli di simulazione ad agenti (cfr sezione 5). Il risultato è una sequenza di moduli di gioco, in cui il giocatore viene chiamato ad effettuare una scelta nel riconoscimento di elementi incrementativi (es. per il sisma: caduta macerie, frantumazioni superfici vetrate, uso veicoli, scintille e fiamme da dispositivi elettrici) o decrementativi (es. per l'ondata di calore: vegetazione, fonti d'acqua, elementi ombreggianti) del rischio, in coerenza con raccomandazioni di Ministero della Salute e Protezione Civile. Inoltre, riceve un messaggio immediato di feedback con spiegazione e possibilità di ripetizione per consolidare le conoscenze. Gli strumenti proposti, sviluppati per situazioni ex-ante, possono essere ugualmente implementati per rappresentare scenari ex-post di intervento, configurandosi in modo scalabile per diverse finalità, dalla comunicazione del rischio alla condivisione delle strategie, dalla divulgazione in campagne di sensibilizzazione allo studio comportamentale degli utilizzatori per lo sviluppo di raccomandazioni ad hoc.

## 9. Conclusioni

L'innovativo approccio alla resilienza degli ambienti costruiti urbani (Built Environment – BE), posto alla base del progetto BE S<sup>2</sup>ECURe, mira ad utilizzare principi di valutazione olistica, multirischio e centrata sul “fattore umano” per definire e progettare soluzioni di mitigazione in scenari rilevanti quali le piazze dei centri storici. Infatti, le piazze sono elementi del layout urbano essenziali per la sicurezza delle città e della loro popolazione, perché rappresentano, principalmente, spazi di interfaccia pubblico-privati e luoghi di aggregazione prevalente in condizioni ordinarie e di emergenza, che però sono trascurate a livello regolamentativo e di ricerca. In questo approccio, un tassello rilevante è occupato anche dalla possibilità di eseguire valutazioni preliminari e speditive che possano supportare i gestori di tali spazi (essenzialmente, le pubbliche amministrazioni) e i progettisti nell'individuare le principali criticità e le soluzioni che, tipologicamente, possono essere più performanti. Il concetto di “condizione tipologica” assume, in questo quadro, un rilievo significativo, intendendo il termine nel suo collegamento ontologico alla rilevante frequenza delle condizioni di input e di output nel processo di valutazione e mitigazione.

I risultati del progetto hanno permesso di analizzare, per la prima volta, le condizioni tipologiche di BE reali (tramite campioni significativamente estesi al contesto italiano ed analisi statistiche degli stessi) definendo un set limitato di loro archetipi (Built Environment Typologies – BETs). Una volta descritte le caratteristiche morfo-tipologiche e costruttive per ogni BET, esse diventano astrazioni significative in connessione ai fattori di base del rischio (pericolosità, vulnerabilità fisica, vulnerabilità ed esposizione degli utenti) per eventi ad accadimento sia lento (SLOw Onset Disasters – SLODs, i.e. ondata di calore e inquinamento dell'aria) che rapido (SUdden Onset Disasters – SUODs, i.e. attacco terroristico e sisma). Lo sviluppo di modelli di simulazione multirischio è

stato utile all'analisi delle condizioni di emergenza di ogni BET, includendo come tassello fondante il comportamento degli utenti rispetto a SLOD e SUOD e alla loro combinazione. In particolare, in questo passaggio, i modelli hanno considerato, in maniera innovativa rispetto alla prassi e alla ricerca attuale, che le condizioni SLOD alterano le condizioni di esposizione (dove e quante persone sono radunate nella piazza?) e di vulnerabilità individuale (quanto i singoli utenti sono soggetti ai loro effetti in base alle proprie caratteristiche fisiche?) mentre le condizioni SUOD sono state utilizzate per derivare le modalità di evacuazione partendo dallo scenario suddetto. La combinazione permette, quindi, di comprendere come i fattori comportamentali influenzino il livello di rischio finale. Diversi indicatori di prestazione (Key Performance Indicators – KPIs) sono stati derivati per i diversi aspetti fondanti del rischio dal punto di vista dello spazio fisico, dei suoi componenti e dei suoi occupanti. Infine, essi sono stati inclusi in metriche specifiche per sintetizzare il livello di rischio di ogni scenario. Il processo di simulazione permette, infine, di valutare quali strategie possano essere tipologicamente rilevanti in ogni BET, distinguendo essenzialmente tra soluzioni architettoniche, gestionali e di training degli utenti grazie agli strumenti di realtà virtuale/aumentata. Il processo descritto permette, in sintesi, di associare ogni BE reale ad una BET desunta dal progetto, e valutare speditivamente criticità e soluzioni tipologiche che potranno essere oggetto di “sartorializzazione” sui singoli casi studio. In questo senso, la valutazione preliminare diventa speditiva, e i progettisti possono concentrarsi sull'analisi delle peculiarità distintive che condizionano l'esito finale del processo sul singolo contesto e sulle sue possibili variazioni anche temporali (es.: di esposizione e vulnerabilità). Il progetto BE S<sup>2</sup>ECURE, grazie alla visione multirischio e comportamentale, permetterà quindi ricadute anche su contesti reali, come il supporto dei professionisti del settore tramite gli strumenti e linee guida sviluppate dal progetto, come quelle relative a: acquisizione dei dati, restituzione e interpretazione critica delle informazioni relative agli spazi aperti urbani; modellazione e analisi del comportamento dell'utente; gestione del processo di progetto e decisionale e di coinvolgimento delle parti interessate includendo soluzioni VR/AR e HBIM avanzate. Parimenti, potrà definire le basi per assicurare l'attuazione e il miglioramento di standard incentrati sulla resilienza e sul benessere del BE, mediante linee guida e il coinvolgimento attivo della popolazione aumentandone consapevolezza del rischio e delle corrette procedure di emergenza. Infine, contribuirà alla promozione di un sistema di valutazione che valuti/certifichi la resilienza del BE prendendo in considerazione congiuntamente i rischi SUOD/SLOD, grazie a KPIs e metriche multirischio, in diverse condizioni di scenario (anche per vulnerabilità ed esposizione) e in presenza di strategie di mitigazione differenti.

### **Ringraziamenti**

Il presente lavoro è stato svolto nell'ambito del progetto PRIN BE S<sup>2</sup>ECURE – “(make) Built Environment Safer in Slow and Emergency Conditions through behaviorally assessed/designed Resilient solutions”, finanziato dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca – grant number 2017LR75XK.

### **Riferimenti bibliografici**

- [1] Miller W. What does built environment research have to do with risk mitigation, resilience and disaster recovery? *Sustainable Cities and Society* 19: 91-97, 2015.

- [2] Villagràn De León JC. Vulnerability: A conceptual and methodological review. 2006.
- [3] Curt C. Multirisk: What trends in recent works? – A bibliometric analysis. *Science of The Total Environment* 763: 142951, 2021.
- [4] Cerè G, et al. Critical review of existing built environment resilience frameworks: Directions for future research. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 25: 173-189, 2017.
- [5] D’Amico A, et al. A survey form for the characterization of the historical built environment prone to multi-risks. *TEMA, Technologies Engineering Materials Architecture (e-ISSN 2421-4574)* 8: 77-88, 2022.
- [6] Zhu R, et al. Human-building-emergency interactions and their impact on emergency response performance: A review of the state of the art. *Safety Science* 127: 104691, 2020.
- [7] Julià PB, Ferreira TM. From single- to multi-hazard vulnerability and risk in Historic Urban Areas: a literature review. *Natural Hazards* 108: 93-128, 2021.
- [8] Ronchi E, et al. Modelling large-scale evacuation of music festivals. *Case Studies in Fire Safety* 5: 11-19, 2015.
- [9] Quagliarini E, et al. Users’ vulnerability and exposure in Public Open Spaces (squares): A novel way for accounting them in multi-risk scenarios. *Cities*. 133: 104160, 2023.
- [10] UNDRR, A/RES/71/644 Report of the open-ended intergovernmental expert working group on indicators and terminology relating to disaster risk reduction, 2016.
- [11] Giuliani F, et al. Rethinking earthquake-related vulnerabilities of historic centres in Italy: Insights from the Tuscan area. *Journal of Cultural Heritage* 54: 79-93, 2022.
- [12] Karlos V, et al. Review on soft target/public space protection guidance. Pub. Office of the European Union, Luxemburg, 2018.
- [13] Gherri B, et al. On the Thermal Resilience of Venetian Open Spaces. *Heritage* 4: 4286-4303, 2021.
- [14] Liang Z, et al. The mediating effect of air pollution in the impacts of urban form on nighttime urban heat island intensity. *Sustainable Cities and Society* 74: 102985, 2021.
- [15] Sharifi A. Urban form resilience: A meso-scale analysis. *Cities*. 93: 238-252, 2019.
- [16] Ministero dell’interno, Circolare del 18 luglio 2018.
- [17] Manuale per l’analisi della condizione limite dell’emergenza dell’insediamento urbano (CLE); 1st ed. Rome, Italy, 2014.
- [18] FEMA. Evacuee Support Planning Guide, FEMA P-760. July, 2009.
- [19] Savić S, et al. Heat wave risk assessment and mapping in urban areas: case study for a midsized Central European city, Novi Sad (Serbia). *Natural Hazards* 91: 891-911, 2018.
- [20] Quagliarini E, et al. Risk Reduction Strategies against Terrorist Acts in Urban Built Environments: Towards Sustainable and Human-Centred Challenges. *Sustainability* 13: 901, 2021.
- [21] Bernardini G, et al. Towards creating a combined database for earthquake pedestrians’ evacuation models. *Safety Science* 82: 77-94, 2016.
- [22] Dong B, et al. Modeling occupancy and behavior for better building design and operation-A critical review. *Building Simulation* 11: 899-921, 2018.
- [23] D’Amico A, et al. Built Environment Typologies Prone to Risk: A Cluster Analysis of Open Spaces in Italian Cities. *Sustainability* 13: 9457, 2021.

- [24] Bernabei L, et al. A novel seismic vulnerability assessment of masonry façades: framing and validation on Caldarola case study after 2016 Central Italy Earthquake. *TEMA, Technologies Engineering Materials Architecture* 7(2), 2021.
- [25] Bernabei L, et al. Seismic risk of Open Spaces in Historic Built Environments: A matrix-based approach for emergency management and disaster response. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 65: 102552, 2021.
- [26] Cantatore E, et al. European Cities Prone to Terrorist Threats: Phenomenological Analysis of Historical Events towards Risk Matrices and an Early Parameterization of Urban Built Environment Outdoor Areas. *Sustainability* 14, 2022.
- [27] Blanco Cadena JD, et al. Using digital models of built environment archetypes to analyze and communicate climate related risk outdoors. In: Blanco H, Bloffill Y, Lombillo I, Saez (Eds.) MP. *REHABEND 2022*. Granada, Spain, 2022, 1793-1802.
- [28] Bröde P, et al. Calculating UTCI equivalent temperature. *Env. Ergonomics XIII*, University of Wollongong, 2009, 49-53.
- [29] US EPA. Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index (AQI), 2018.
- [30] Cheung PK, Jim CY. Improved assessment of outdoor thermal comfort: 1-hour acceptable temperature range. *Building and Environment* 151: 303-317, 2019.
- [31] Bernardini G, et al. Toward quick multi-risk mitigation in historic Public Open Spaces: a behavioral-design approach in typological scenarios for heatwaves and terrorist acts. In: *Extended Abstracts of the Xth Edition of the ReUSO*. 2022, 223-224.
- [32] Goepel KD. Implementing the Analytic Hierarchy Process as a Standard Method for Multi-Criteria Decision Making in Corporate Enterprises – a New AHP Excel Template with Multiple Inputs. 2013.
- [33] Salvalai G, et al. Multi-risk mitigation strategies for increasing built environment resilience through a qualitative assessment In: Dassori E, Morbiducci R (Eds.). *Colloqui.AT.e 2022 – Memoria e Innovazione*. EdicomEdizioni, Monfalcone (Gorizia), 2022, 625-636.
- [34] Fazzio F. La valutazione della vulnerabilità urbana: il caso di Nocera Umbra. In: Olivieri M (Ed.). *Vulnerabilità urbana e Prevenzione urbanistica degli effetti del sisma: il caso di Nocera Umbra*. 2004, 1689-1699.
- [35] Anelli A, et al. Fragility Curves of the Urban Road Network Based on the Debris Distributions of Interfering Buildings. *Applied Sciences* 10, 2020.
- [36] Bicknell J, et al. Adapting cities to climate change: Understanding and addressing the development challenges. 2012, 1-397.
- [37] Lovreglio R. Virtual and Augmented Reality for Human Behaviour in Disasters: A Review Emergency Evacuation, Fire and Evacuation Modeling Technical Conference (FEMTC) 2020 Online Conference, September 9-11, 2020.
- [38] Stone NJ, et al. Virtual Reality for Hazard Mitigation and Community Resilience: An Interdisciplinary Collaboration with Community Engagement to Enhance Risk Awareness. *AIS Transactions on Human-Computer Interaction* 13: 130-144, 2021.

